

AUS DEM LEHRSTUHL FÜR KIEFERORTHOPÄDIE  
PROF. DR. DR. PETER PROFF  
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN  
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**ANALYSE DER KINEMATISCHEN  
VARIABLEN VON UNBEHANDELTEN PATIENTEN  
IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ANGLE-KLASSIFIKATION**

Inaugural – Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Zahnmedizin

der Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Janine Wieder

Regensburg 2017



AUS DEM LEHRSTUHL FÜR KIEFERORTHOPÄDIE  
PROF. DR. DR. PETER PROFF  
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN  
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**ANALYSE DER KINEMATISCHEN  
VARIABLEN VON UNBEHANDELTEN PATIENTEN  
IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ANGLE-KLASSIFIKATION**

Inaugural – Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Zahnmedizin

der Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Janine Wieder

Regensburg 2017

Dekan:	Prof. Dr. med. Dr. med. dent. T. E. Reichert
1. Berichterstatter	Prof. Dr. med. dent. C. Reicheneder
2. Berichterstatter:	Prof. Dr. med. dent. S. Hahnel

Tag der mündlichen Prüfung: 15.12.2017



**Meiner Familie gewidmet**

## Inhaltsangabe

1. Einleitung und Fragestellung.....	3
2. Literaturübersicht.....	6
2.1. Morphologie des Kiefergelenks.....	6
2.2. Entwicklung und Wachstum des Kiefergelenks.....	10
2.3. Funktionelle Aspekte des Kiefergelenks.....	14
2.3.1. Öffnungs- und Schließbewegung.....	16
2.3.2. Vor- und Rückbissbewegung.....	16
2.3.3. Seitwärtsbewegung.....	16
2.4. Instrumentelle Funktionsanalyse.....	18
2.5. Einteilung der Okklusion nach Angle.....	20
3. Patienten und Methoden.....	21
3.1. Patienten.....	21
3.2. Methoden.....	21
3.2.1. Klinische Untersuchung.....	21
3.2.2. Instrumentelle Untersuchung.....	25
3.3. Software-Verfahren.....	31
3.4. Statistische Analyse.....	39
4. Ergebnisse.....	41
4.1. Überblick.....	41
4.2. Öffnen (Kondylenbahnlänge).....	47
4.2.1. Öffnen rechter Condylus.....	47
4.2.2. Öffnen linker Condylus.....	48
4.3. Retrusion.....	49
4.3.1. Retrusion rechter Condylus.....	49
4.3.2. Retrusion linker Condylus.....	50
4.4. Laterotrusion.....	51
4.4.1. Laterotrusion nach rechts.....	51
4.4.2. Laterotrusion nach links.....	52
4.5. Mundöffnung.....	53
4.6. Kondylenbahnneigungswinkel.....	54
4.6.1. Kondylenbahnneigungswinkel nach 3 mm Protrusion rechts.....	54
4.6.2. Kondylenbahnneigungswinkel nach 3 mm Protrusion links.....	55
4.6.3. Kondylenbahnneigungswinkel nach 5 mm Protrusion rechts.....	56

4.6.4. Kondylenbahnneigungswinkel nach 5 mm Protrusion links.....	57
4.7. Bennett-Winkel.....	58
4.7.1. Bennett-Winkel nach 3 mm Mediotrusion des rechten Kiefergelenks.....	58
4.7.2. Bennett-Winkel nach 3 mm Mediotrusion des linken Kiefergelenks.....	59
4.7.3. Bennett-Winkel nach 5 mm Mediotrusion des rechten Kiefergelenks.....	60
4.7.4. Bennett-Winkel nach 5 mm Mediotrusion des linken Kiefergelenks.....	61
5. Diskussion.....	62
5.1. Diskussion zur Patientenauswahl.....	62
5.2. Diskussion zur Methode.....	63
5.3. Diskussion zu den Untersuchungsergebnissen.....	65
5.3.1. Öffnen (Kondylenbahnlänge).....	65
5.3.2. Retrusion.....	66
5.3.3. Laterotrusion.....	66
5.3.4. Mundöffnung.....	68
5.3.5. Kondylenbahnneigungswinkel.....	70
5.3.6. Bennett-Winkel.....	71
5.3.7. Angle-Klassen.....	73
5.3.7.1. Angle-Klasse I.....	73
5.3.7.2. Angle-Klasse II/1.....	74
5.3.7.3. Angle-Klasse II/2.....	74
5.3.7.4. Angle-Klasse III.....	76
6. Zusammenfassung.....	77
7. Literaturverzeichnis.....	79
Erklärung zum Promotionsverfahren.....	90
Curriculum vitae	
Danksagung	

## 1. Einleitung und Fragestellung

Zu den traditionellen kieferorthopädischen Behandlungsmotiven zählen die Verbesserung der dentofazialen Ästhetik und der Kiefergelenkfunktion, sowie die Optimierung der statischen und der dynamischen Okklusion und der Mastikation (Diedrich, 2000). Die Entwicklung der einzelnen Strukturen des Kiefergelenks steht in enger Wechselbeziehung zur Entwicklung der Dentition. In Anlehnung an das National Institute of Dental and Craniofacial Research (NIDCR) beträgt die Prävalenz für Kraniomandibuläre Dysfunktionen (CMD) zwischen 5% und 12%. Unter jüngeren Individuen ist die Prävalenz für eine CMD höher und Frauen sind doppelt häufig im Vergleich zu Männern betroffen ([www.nidcr.nih.gov](http://www.nidcr.nih.gov) 04.10.2010). Die Studie von Pow et al. (2002) an einer erwachsenen chinesischen Population in Hong Kong zeigt beispielsweise, dass 7,5% der Männer und 8,9% der Frauen Schwierigkeiten bei der Mundöffnung haben. Diese Ergebnisse sind ähnlich zu denen aus einer Studie in einer schwedischen Population (Johansson et al., 2002) zu bewerten. Hier zeigen 8,2% der Männer und 11,2% der Frauen Auffälligkeiten bei der Mundöffnung. Kieferbewegungen werden daher häufig als wichtiger Parameter für die Beurteilung der Funktion des Kiefergelenks und des Status der Kaumuskulatur verwendet (Fanghänel et al., 2006; Fanghänel und Gedrange, 2007; Gedrange et al., 2000). Das Ausmaß von Unterkieferbewegungen gibt Aufschlüsse über die zu erwartenden funktionellen Störungen des mastikatorischen Systems (Gedrange et al., 2005, 2006; Hützen et al., 2007) und ist hilfreich bei der Einstufung des Schweregrades einer Funktionsstörung (Proff et al., 2007a, b).

Es gibt verschiedene Methoden zur Untersuchung der Kiefergelenkmobilität (Dijkstra et al., 1995). Für die bildgebende Untersuchung der Kiefergelenke lassen sich die auf der Röntgentechnik basierende Verfahren (transkraniale Röntgentechnik, Panoramaschichtaufnahmen, laterale Tomographie, Computertomographie, Arthrographie), die Magnetresonanztomographie, das Ultraschallverfahren (Sonographie), sowie endoskopische Methoden (Arthroskopie) unterscheiden. Von den genannten Verfahren weisen für die Funktionsdiagnostik aus heutiger Sicht die Panoramaschichtaufnahme (Übersichtsbild), die Magnetresonanztomographie (Darstellung knöcherner und Weichgewebsstrukturen im Kiefergelenk sowie intraartikulärer Flüssigkeitsansammlungen), die Computertomographie (Beurteilung knöcherner Strukturen), sowie die Arthroskopie eine hohe klinische Relevanz auf ([www.dgftd.de](http://www.dgftd.de) Stellungnahmen). Bereits 1910 beschrieb Gysi eine graphische Methode

für die Aufzeichnung von Unterkieferbewegungen und 1924 wurde die erste Methode entdeckt, um die Scharnierachse zu lokalisieren ([www.gnathologyusa.org/History.html](http://www.gnathologyusa.org/History.html)). McCollum gründete 1926 die Gnathological Society of California. Es wurde ein extraoral zu befestigendes Gerät entwickelt, mit dem in drei Ebenen auf Aufzeichnungsplatten die Unterkieferbewegungen aufgezeichnet werden konnten. 1934 wurde der McCollum Gnathograph entwickelt. Für die instrumentelle Aufzeichnung von Unterkieferbewegungen gibt es heute verschiedene Methoden. Schließlich haben sich die computergestützten Systeme durchgesetzt und es stehen gegenwärtig zahlreiche Messsysteme mit entsprechender Software zur Verfügung. Die am häufigsten verwendeten Messsysteme sind Win Jaw für den Jaw-Motion-Analyser (Fa. Zebris), CADIAX und CADIAX-Compact (Fa. Gamma), String-Condylcomp (Fa. Dentrion), ARCUS-Digma (Fa. KaVo, Leutkirch), ARTICUS (Schrader, Berlin), IPR-System (Vogel, Heinze, Leipzig) und Rosy-System (Edinger, Hamburg). Die instrumentelle Funktionsanalyse dient vor allem der Objektivierung der Funktionstüchtigkeit des stomatognathen Systems und zur (Verlaufs-)Dokumentation in der Therapie von Störungen dieses Systems. Die Axiographie ermöglicht eine genaue Analyse der Bewegungen des Unterkiefers und der Kiefergelenke. Die Bewegungen können mit einer Genauigkeit von 6 Freiheitsgraden wiedergegeben werden (Wessling, 2003; Baquaien et al., 2007; Reicheneder et al., 2008).

Auch bei gesunden Probanden mit einer regulären Funktion stellt die Determination der mandibulären Mobilität einen essentiellen Teil jeder physiologischen Studie des stomatognathen Systems dar (Kordass et al., 2007; Kubein-Meesenburg et al., 2007; Rottner et al., 2007). Wenn eine Korrelation zwischen einem bestimmten Muster der temporomandibulären Bewegung und einer spezifischen klinischen Diagnose existiert, kann der Behandler so eine korrekte und vorhersehbare Behandlung einleiten (Clark and Lynn, 1986). Während einer Behandlung ist es sinnvoll, die Bewegungsausmaße des Unterkiefers objektiv aufzuzeichnen, um so den therapeutischen Prozess zu beurteilen.

Die kieferorthopädische Therapie von Klasse II/2-Patienten gilt oft als besonders herausfordernd und langwierig. Der Distalbiss mit steil stehenden Frontzähnen führt häufig zu spezifischen Anpassungen im Kiefergelenk. So wurde im Schrifttum gezeigt, dass bei Protrusions- und Öffnungsbewegungen eine ausgeprägte sagittale Gelenkbahnneigung überwunden werden muss (Anders et al., 2000). Die Studie von Manfredini et al. (2017) untersuchte die Zusammenhänge zwischen Asymmetrien der Angle-Klasse im Bereich der Molaren und Eckzähne und einer temporomandibulären

Dysfunktion. Die Angle-Klasse im Bereich der Eckzähne korrelierte mit einer Arthrose im Kiefergelenk, während die Angle-Klasse im Bereich der Molaren nicht mit einer CMD korrelierte. Ziel der Untersuchung war es, an 92 unbehandelten Angle-Klasse I, Klasse II/1, Klasse II/2 und Klasse III Patienten im Alter von 7,2 bis 10,6 Jahren, die funktionellen Anpassungen des Kiefergelenks in den jeweiligen Angle-Klassen mit Hilfe der dreidimensionalen elektronischen Bewegungsaufzeichnung des Unterkiefers (Axiographie) zu analysieren. Wir möchten in dieser Arbeit herausstellen, inwieweit sich bereits im Kindesalter vor kieferorthopädischer Therapie in Abhängigkeit von der Angle-Klasse ein Unterschied in den kinematischen Variablen zeigt und welche Zusammenhänge zwischen den kinematischen Variablen des Unterkiefers und der Kiefergelenke mit den entsprechenden Angle-Klassen bestehen.

## 2. Literaturübersicht

### 2.1. Morphologie des Kiefergelenks

Das Kiefergelenk, *Articulatio temporomandibularis*, bildet einen funktionellen Bestandteil des biokybernetischen Regelkreises des orofazialen Systems. Es liegt zwischen dem Condylus der Mandibula und der Fossa articularis des Os temporale. Durch den Discus articularis wird es in eine obere und untere Gelenkkammer geteilt. Das Kiefergelenk ist paarweise angelegt. Die rechte und linke Seite müssen für optimale Funktionen relativ simultan aufeinander abgestimmt sein. Die Teilgelenke beider Seiten bilden ein einheitliches funktionelles Gelenksystem, in welchem der Discus articularis als transportable Gelenkpfanne wirkt (u.a. Schumacher, 1997). Einige Studien hingegen bewerten das Kiefergelenk auch als eine individuelle oder unilaterale Struktur ohne direkten Zusammenhang zur kontralateralen Seite (Murakami et al., 1993; Sato et al., 1999; Kurita et al., 2000). Das Kiefergelenk ist eine komplexe Struktur und essentiell für mandibuläre Bewegungen. Es ist nur bei Säugetieren in dieser komplexen Struktur zu finden (Purcell et al., 2009).

Die Hauptkomponenten des Kiefergelenkes sind nach Zola (1963) u.a.:

- Kiefergelenkkopf, *Caput mandibulae*
- Gelenkgrube, *Fossa mandibularis*
- Gelenkhöcker, *Tuberculum articulare*
- *Processus postglenoidalis* und Fissuren
- Gelenkscheibe, *Discus articularis*
- Bilaminäre Zone und retroartikuläres Polster
- Gelenkkapsel, *Capsula articularis* und Bänder, *Ligamenta*
  - Verstärkungsband: *Lig. laterale*
  - Führungsbänder: *Lig. sphenomandibulare*  
*Lig. stylomandibulare*
- Nutritive Nerven und Gefäße, einschließlich Lymphbahnen

### *Caput mandibulae*

Der Kiefergelenkkopf, *Caput mandibulae*, ist walzen- bis ellipsenartig geformt. Er weist eine sehr individuelle Form auf. Beim Neugeborenen ist er noch sehr flach, während er bis zum Abschluss der Milchzahndentition rundlicher wird und mit dem Ende der zweiten Wechselgebissphase walzenförmig erscheint. In Anlehnung an Untersuchungen von Karlo et al. (2010) ist die Form und Größe des Kiefergelenkkopfes signifikant mit dem Alter assoziiert. Die Größe der Kondylen nimmt mit dem Alter zu, wobei die Form der Kondylen von einer runden in eine ovale Form übergeht. In dieser Studie wurden die Kondylen in drei Kategorien unterteilt: Typ I zeigte eine runde Form, welche am häufigsten bei Kindern im Alter von 0 bis 5 Jahren vorkam; Typ II zeigte ventral die Entwicklung einer schnabelförmigen Ausziehung am Condylus und Typ III zeigte eine weitere Verstärkung der schnabelförmigen Ausziehung, sowie eine Abflachung der anterioren Fläche des Condylus. Der Typ III wurde bei Kindern im Alter von 10 Jahren und älter beobachtet. Katsavrias (2006) zeigte, dass bei Patienten mit einer Klasse II/2 Malokklusion die vorwiegende anteroposteriore Form des Condylus oval ist (60,4%), gefolgt von einer runden Form (29,2%). Meng et al. (2008) betonten, dass es signifikante Unterschiede in der skelettalen Morphologie des Kiefergelenkes zwischen Kindern und Erwachsenen gibt. Die Autoren zeigten außerdem, dass Kiefergelenke Erwachsener nicht einfach Vergrößerungen von kindlichen Gelenken sind. Es wurde festgestellt, dass die Form des Condylus beim Kind nahezu rund und kleiner im Vergleich zur Fossa des Os temporale ist. Auch war die Fossa bei Kindern abgeflachter im Vergleich zur Fossa der Erwachsenen. Dibbets und van der Weele (1991) sahen in der abgeflachten Form des Kiefergelenkkopfes auf lateralen Röntgenaufnahmen eine saisonale Variation bei Kindern und interpretieren diese als eine Art „temporären Wachstumsvektor“.

### *Fossa mandibularis*

Die Kiefergelenkgrube, *Fossa mandibularis*, liegt an der Unterseite des Os temporale. Diese ist etwa 2- bis 3mal größer als die Gelenkfläche des Kieferkopfes und korrespondierend zur Position desselben etwas schräg gestellt (Schumacher, 1997). Sie assoziiert mit der Form des Kiefergelenkkopfes (Solberg et al., 1985). Die *Fossa mandibularis* ist mit Faserknorpel überzogen (Lautenbach, 1992). Bei Klasse II/2 Patienten fanden Katsavrias et al. (2006)



folgende Häufigkeitsverteilungen im Hinblick auf die Form der Fossa mandibularis: oval (58,3 %), triangulär (18,8%), trapezoidal (15,6%) und rund (7,3%). Bei 52,1% der untersuchten Gelenke waren die Formen von Kiefergelenkgrube und Kiefergelenkkopf übereinstimmend. 83,7% davon zeigten wiederum eine ovale Form, bei 16,3% lag eine runde Form vor. Weiterhin fanden die Autoren heraus, dass noch vor dem 8. Lebensjahr die Morphologie der Fossa mandibularis die Dimension eines Erwachsenen erreicht. Meng et al. (2008) sahen unter anderem in der mehr abgeflachten Fossa mandibularis bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen eine Ursache für die größere Flexibilität kindlicher Kiefergelenke, aber auch für eine höhere Dislokationstendenz des Kiefergelenks bei Kindern.

### *Tuberculum articulare*

Der Gelenkhöcker, das Tuberculum articulare, besitzt eine schräg nach hinten unten abfallende Gelenkfläche, deren Neigungswinkel zur Okklusionsebene etwas 35 Grad beträgt, bei tiefem frontalen Überbiss jedoch größer ist. Im Sagittalschnitt zeigen die Fossa mandibularis und das Tuberculum articulare eine S-förmige Gelenkbahn (Schumacher, 1997). Der Gelenkhöcker ist von Faserknorpel überzogen. Sato et al. (1996) zeigten, dass es einen signifikanten Unterschied in der Höhe des Gelenkhöckers bei Patienten mit einer Kraniomandibulären Dysfunktion und Patienten ohne Dysfunktion gibt. Patienten mit Funktionsstörungen zeigten einen signifikant größeren Gelenkhöcker. Sülün et al. (2001) kamen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass eine steilere hintere Steigung und ein höherer Gelenkhöcker prädispositionierende Faktoren für die Entwicklung von Diskusdislokationen darstellen. Galante et al. (1995) hingegen stellten keine signifikanten Unterschiede in Größe und Form des Gelenkhöckers zwischen symptomatischen und asymptomatischen Patienten fest. Hirata et al. (2007) klassifizierten die Form des Gelenkhöckers in die Typen kastenförmig, sigmoidal, abgeflacht oder deformiert.

### *Processus postglenoidalis und Fissuren*

Der Processus postglenoidalis ist ein Knochenfortsatz der Pars squamosa des Os temporale. Er liegt im dorsalen Bereich der Fossa mandibularis. Die hier vorhandenen Fissuren dienen zur Befestigung der dorsokraniellen Fasern des Discus articularis des Kiefergelenks. Zu ihnen

zählen die Fissura tympanosquamosa, die Fissura petrosquamosa, sowie die Fissura petrotympanica. Aus letztgenannter Fissur (auch Glaser-Spalte) tritt die Chorda tympani aus, welche den Intermediusanteil des N. facialis darstellt. Bumann et al. (1991) betonen, dass die Fissuren bei Patienten mit Diskusdislokationen häufig verknöchert und in variablem Umfang vorhanden sind.

### *Discus articularis*

Die Gelenkscheibe, der Discus articularis, bedeckt bei geschlossenem Mund den Condylus kappenartig. Er teilt das Kiefergelenk in eine obere und in eine untere Gelenkkammer. Diese beiden Gelenkräume haben keinen direkten Kontakt. Sie sind mit Synovialflüssigkeit gefüllt, wobei das obere Gelenk ein Volumen von ungefähr 1,2ml und das untere von 0,9ml fasst (Katzberg, 1989). Die Grundform des Discus ist ovoid. Hirata et al. (2007) teilen die Konfiguration der Gelenkscheibe in bikonkav, biplanar, bikonvex, hemikonvex oder abgefaltet ein. Von ventral gesehen ist der Discus medial dicker als lateral. In der Sagittalan­sicht lässt er sich in vier Abschnitte gliedern. Der zentrale Abschnitt ist die intermediäre Zone. Sie besteht aus straffem Bindegewebe und hat vor allem in den Randzonen Faserknorpelanteile. Die intermediäre Zone ist avaskulär. Der anteriore und posteriore Abschnitt sind dicker als der mittlere Teil des Discus. Der posteriore Anteil spaltet sich in zwei Blätter und wird daher auch als bilaminäre Zone bezeichnet.

Die Aufgabe des Discus besteht darin, die Inkongruenz der artikulierenden Gelenkflächen sowie die Größenunterschiede zwischen Gelenkpfanne und Condylus auszugleichen (Schumacher, 1997). Gleichzeitig ist er an der Stoßdämpfung bei der Übertragung des Kaudruckes auf die Schädelbasis und bei der Reibungsverteilung zwischen Kiefergelenkköpfchen und Kiefergelenkgrube beteiligt. Auch Tanaka et al. (2006) fanden, dass der Discus eine wichtige Funktion bei der Reduzierung der Friktion im Kiefergelenk übernimmt. Diese Reduzierung der Friktion ergibt sich daraus, dass der Discus die Inkongruenz der Gelenkflächen ausgleicht und eine Zunahme der Gelenkschmiere bewirkt. Der Rand der Kiefergelenkscheibe ist vorn, medial und lateral mit der Kiefergelenkkapsel verwachsen (Lautenbach, 1992; Fanghänel et al., 2003).

### *Bilaminäre Zone und retroartikuläres Polster*

Die bilaminäre Zone besteht aus den sich in zwei Blätter spaltenden hinteren Anteil des Discus articularis. Das obere Blatt ist an der Fissura tympanosquamosa, sowie Fissura petrosquamosa befestigt. Das untere Blatt ist am Kiefergelenkkopf befestigt. Nach hinten geht die bilaminäre Zone in das retroartikuläre Polster (Genu vasculosa) über, welches aus lockerem, fettreichen und stark vaskularisiertem Bindegewebe besteht. Die bilaminäre Zone und das retroartikuläre Polster stellen ein hydropneumatisches Polster dar und gleichen Volumenveränderungen im Gelenk aus (Schumacher, 1997).

### *Capsula articularis*

Die Kapsel des Kiefergelenks ist relativ weit. Sie besteht wie jede Gelenkkapsel aus einer äußeren Membrana fibrosa und einer inneren Membrana synovialis. Sie umhüllt das Kiefergelenk luftdicht, produziert die Gelenkschmiere und schützt das Gelenk. Bei Bewegungen besitzt der Condylus viel Spielraum. Die Befestigung der Kapsel folgt in etwa der Knorpel-Knochen-Grenze. Innen ist die Kiefergelenkkapsel mit dem Discus verwachsen. Die Gelenkkapsel wird außen durch das Ligamentum laterale gestärkt. Die mediale Seite der Kiefergelenkkapsel wird durch das Ligamentum mediale, welches sehr schwach sein kann, vermutlich auch verstärkt.

Die schräg verlaufenden Fasern des lateralen und medialen Kapselbandes hemmen maximale Vorwärts- und Rückwärtsbewegungen des Condylus. Bei Mahlbewegungen wirken die Bänder stabilisierend auf den Gelenkkopf der Arbeitsseite (Schumacher, 1997). Das Ligamentum sphenomandibulare und das Ligamentum stylomandibulare liegen am medialen Rand des Unterkiefers ohne direkten Kontakt zur Kiefergelenkkapsel. Sie stellen Führungsbänder dar. Zusammen mit dem Ligamentum pterygomandibulare hemmen sie Öffnungs- und Protrusionsbewegungen.

## **2.2. Entwicklung und Wachstum des Kiefergelenks**

Das Kiefergelenk ist ein sekundäres Gelenk. Es wird auch als Anlagerungsgelenk bezeichnet, da es sich nicht durch Ossifikation des ursprünglich vorhandenen Meckel-Knorpel bildet,

sondern erst etwas später und an anderer Stelle (Theorie nach Reichert-Gaupp, Dietrich, 2000). Moffett (1966) bezeichnet das Kiefergelenk als spezielle Struktur, welche nach der Evolution nur bei den Säugetieren zu finden ist und nicht eine Anpassung einer bereits bestehenden Struktur darstellt. Der Unterkiefer entwickelt sich aus einer paarigen Anlage seitlich vom Meckel-Knorpel. Die Verknöcherung erfolgt desmal mit Ausnahme des Gelenkkopfes, der durch chondrale Ossifikation des Gelenkknorpels entsteht. Letzterer ist ein Sekundärknorpel, der sich erst in der 6. Embryonalwoche bildet (Schumacher, 1997). Während die Knorpelzellen an Muskelfortsatz und Kinns Spitze nach ihrer Verknöcherung zu einem späteren Zeitpunkt vom desmalen Knochen des Unterkiefers umschlossen und in ihn integriert werden, bleiben die kranialen Anteile des kondylären Sekundärknorpels praktisch das gesamte Leben erhalten (Dietrich, 2000). Die unterschiedlichen Teile des Kiefergelenkes entwickeln sich nicht zur selben Zeit oder mit demselben Rhythmus (Spyropoulos, 1977). Der Discus articularis entwickelt sich ab der 9. bis 10. Woche. Es zeigen sich zu dieser Zeit schmale Spalten oberhalb und unterhalb des Discus, welche den Beginn der Entstehung der Gelenkspalten zeigen. Radlanski et al. (1999) beschreiben die Entstehung des Discus bei einer Scheitel-Steiß-Länge des Embryos von 70 mm. Auch seine typische bikonkave Form ist bereits zu diesem Zeitpunkt erkenntlich. Ab der 12. Woche zeigt sich der Discus articularis in enger Beziehung zum Musculus pterygoideus lateralis. Während der 12. Woche verändert sich die Form des Discus zu einem dünneren zentralen Teil und einem dickeren peripherem Teil. Ebenso zeigt sich der Discus zu diesem Zeitpunkt bereits komplett abgegrenzt von den Gelenkflächen. Die kritische Phase für die Entwicklung des Discus liegt zwischen der 9. und 12. Woche (Wierusz und Woźniak, 2004). Van der Linden et al. (1987) beschreiben das erste Auftreten der Gelenkgrube am Os temporale zwischen der 7. und 8. Woche als sichtbare Verdichtung von Zellen. Mit der 10. bis 11. Woche zeigt sich dort erster spongiöser Knochen. Die Form der Fossa wird bis zur 9. Woche noch als konvex beschrieben. Die mesenchymale Zellverdichtung und die Formung des Condylus beginnen ebenfalls in der 7. und 8. Woche. Kondyläre Knorpelzellen treten in der 9. und 10. Woche auf. Die Form des frühen knorpeligen Condylus ist bereits konvex. Nach Wierusz und Woźniak (2004) beginnt ab der 7. Woche das erste Auftreten des Discus articularis. Insbesondere zeigen sich diese mesenchymalen Zellverdichtungen des späteren Discus vor der Kavitation des oberen und unteren Gelenkspaltes. Ab der 10. bis 12. Woche zeigen sich Kollagenfasern am Discus. In der 9. bis 11. Woche entwickelt sich die Kiefergelenkkapsel. Mit der 17. Woche ist diese als gut ausgeprägte fibröse Gewebegrenze zwischen den intra- und extrakapsulären Gelenkstrukturen zu erkennen. Der obere und untere Gelenkspalt entstehen aus schmalen

Räumen und Spalten zwischen dem mesenchymalen Gewebe. Der untere Gelenkspalt zeigt sich um die 10. Woche, der obere erst um die 12. Woche. Um die 18. Woche entsprechen beide Gelenkspalten der Größe und der Form der Gelenkgrube und des Condylus. Die Formen von oberem und unterem Gelenkspalt sind reziprok. Der obere Gelenkspalt ist konkav, der untere konvex. Entgegen zu den Untersuchungen von Furstman (1980), der die kritische Phase für die Entwicklung des Kiefergelenks von der 8. bis zur 12. pränatalen Woche beschreibt, zeigen van der Linden et al. (1987) die kritische Phase etwas früher zwischen der 7. und 11. Woche auf. Das Tuberculum postglenoidale, die Fossa articularis und das Tuberculum articulare sind während der gesamten intrauterinen und in der ersten postnatalen Periode morphologisch nur wenig strukturiert und nicht ausmodelliert. Erst mit dem Durchbruch der Milchzähne beginnt sich die charakteristische Konfiguration herauszubilden, die deutlich funktionsabhängig ist und etwa mit der Eruption der zweiten Molaren ihren Endzustand erreicht (Dietrich, 2000). Im Gegensatz dazu beschreibt Lautenbach (1992) zur Entwicklung des Kiefergelenkes, dass zum Zeitpunkt der Geburt der Kiefergelenkhöcker noch nicht ausgebildet ist. Nach der Geburt kommt das Kiefergelenk unter den Einfluss der Unterkieferbewegungen und unter der Beeinflussung muskulärer Reize zur weiteren Entwicklung und Formung. Bereits im 15. Lebensmonat ist die Grundform des endgültigen Kiefergelenkes entstanden. Der Autor berichtet, dass das Kiefergelenk zeitweise bis zum Durchbruch der Weisheitszähne und ihrer Einstellung in den Antagonistenkontakt im Umbau begriffen ist. Wir finden bei einem tiefen Biss im Allgemeinen einen mehr steilen Kiefergelenkshöcker, bei geringerem Frontzahnüberbiss einen flacheren. Thilander et al. (1976) beschreiben eine ähnliche Entwicklung mit ihrer Untersuchung. Zum Zeitpunkt der Geburt ist die temporale Komponente des Kiefergelenks sehr flach und wird von vaskularisiertem Bindegewebe gesäumt, welches mit zunehmendem Alter reich an kollagenen Fasern wird. In der Fossa fehlt die Knorpelschicht noch, sie zeigt sich jedoch bereits auf dem Tuberculum. Bis zum Alter von 17 bis 18 Jahren kann noch eine Proliferationszone gefunden werden.

Es existieren zahlreiche Darstellungen über das Wachstum des Unterkiefers und des Kiefergelenkes (Van der Linden et al., 1987; Ögütçen-Toller und Juniper, 1993; Lee et al., 2001; Wierusz und Woźniak, 2004). Nach Schumacher (1997) verschwindet mit der Synostosierung beider Unterkieferhälften Ende des 1. Lebensjahres der Knorpel der Symphysis mentalis. Die Wachstumspotenzen des kondylären Knorpels halten jedoch, wenn auch mit abnehmender Intensität, bis in das Erwachsenenalter an. Das Kiefergelenk unterscheidet sich von anderen Gelenken dadurch, dass es durch appositionelles Wachstum

geformt wird und dass die Gelenkfläche des Condylus und der Fossa glenoidea mit Faserknorpel anstatt mit hyalinem Knorpel überzogen sind (Purcell et al., 2009). Der Unterkieferast verlängert sich nach hinten oben, und der Kieferwinkel verkleinert sich. Dieser Prozess wird durch periostale Knochenanlagerungen im Bereich des Kieferwinkels unterstützt. Weiter beschreibt der Autor (Purcell et al., 2009), dass die Wachstumsbewegung des Unterkiefers nach vorn und unten durch die Rückwärtsverlagerung der Fossa mandibularis an der Schädelbasis zum Teil kompensiert wird. Thilander et al. (1976) unterstützen diese Annahme. Es wurden histologische Untersuchungen an 61 humanen Kiefergelenken im Alter von 2 Tagen bis 27 Jahren durchgeführt. Die vier Schichten des Condylus wurden untersucht. Die fibröse Bindegewebsschicht ist beim Neugeborenen gut vaskularisiert, im Alter von sechs Jahren ist sie avaskulär und enthält viele Zellen. Darunter liegt eine zellreiche Zwischenzone mit vielen undifferenzierten Zellen und Knorpelzellen. Diese Proliferationszone bleibt bis zum 13. bis 15. Lebensjahr aktiv, danach nimmt ihre Stärke ab und auch die Anzahl der Zellen verringert sich. Gleichzeitig nimmt die Interzellulärsubstanz zu. In der Knorpelschicht finden wir hypertrophische Knorpelzellen und mineralisierten Knorpel. Beim Neugeborenen ist diese Zone sehr groß, nimmt aber rapide ab und zeigt sich im Alter von fünf bis sechs Jahren nur noch als schmale Zone auf der oberen Fläche des Condylus. Die vierte Schicht ist eine subchondrale Knochenformationsschicht. Die Gelenkfläche des Os temporale ist zum Zeitpunkt der Geburt sehr flach. Das umsäumende Bindegewebe ähnelt dem des Condylus. Dieses ist ebenfalls gut vaskularisiert. Mit zunehmendem Alter wird es reicher an Kollagenfasern, welche in antero-posteriorer Richtung verlaufen. Zum Zeitpunkt der Geburt zeigt sich am zukünftigen Tuberculum ein Übergangsknorpel. Dieser Knorpel verliert schnell an Größe und fehlt im Bereich der Fossa mandibularis. Dieser erscheint dann nur noch als schmale Schicht auf dem unteren Teil des Tuberkulums. Es zeigen sich hier weniger und kleinere Zellen als beim kondylären Knorpel. Während der Pubertät nimmt die Proliferationszone zu. Sie bleibt bis zum 17. bis 18. Lebensjahr bestehen. Bis ins Erwachsenenalter kann am unteren Teil des Tuberkulums Knorpel nachgewiesen werden. Ein Remodelling findet in der Fossa mandibularis von frühester Kindheit bis ins Erwachsenenalter statt.

Der Discus articularis ist zum Zeitpunkt der Geburt relativ uniform. Schnell wird während der postnatalen Entwicklung der zentrale Anteil des Discus dünner und der periphere, insbesondere der posteriore, erscheint dicker. Während der ersten Lebensjahre ist der Discus gut vaskularisiert und enthält viele Zellen. Später steigt der Anteil kollagener Fasern und die Gefäße im zentralen Bereich verschwinden. Über das 20. Lebensjahr hinaus bleibt nur noch in

den superioren und anterioren Teilen des Condylus und im posterior-inferioren Bereich des Tuberculum articulare zellarmer Knorpel bestehen. Dieser ist bei weiteren Remodelling-Prozessen im späteren Leben als Reaktion auf verschiedene Stimuli beteiligt (Carlsson, Öberg, 1974). Die Lokalisation dieser Knorpelreste kann gleichzeitig als eine Art Anpassung der Gewebe an die funktionelle Belastung des Kiefergelenkes interpretiert werden.

Hinton (1981) hebt hervor, dass das Kiefergelenk während des Erwachsenenalters kontinuierliche morphologische Anpassungen durchläuft und dass diese Anpassungen besonders durch den Gebissstatus vermittelt werden. Der Autor stellte weiterhin Unterschiede in diesen Anpassungsmustern zwischen verschiedenen menschlichen Probanden fest. Es wurde gezeigt, dass beispielsweise Eskimos, die als Jäger und Sammler leben, besonders die Frontzähne als eine Art „dritte Hand“ benutzen. Ein stetiger Anstieg der Tiefe der Gelenkgrube und Form des Gelenkhöckers ist dabei zu beobachten. Buschang et al. (1999) stellten Wachstumstabellen für das kondyläre Wachstum zwischen dem 6. und 16. Lebensjahr auf und zeigten einen geschlechtsspezifischen Dimorphismus für das kondyläre Wachstum. Untersucht wurden Fernröntgenseitenaufnahmen von 113 Knaben und 108 Mädchen. Durch Überlagerung natürlicher radiographischer Referenzstrukturen von Serienfernrontgenseitenaufnahmen wurde das Wachstum des kephalometrischen Bezugspunktes Condylon (Co) registriert und in Perzentilen eingeteilt. Die durchschnittlichen jährlichen kondylären Wachstumsgeschwindigkeiten lagen zwischen 2,1 und 3,1 mm pro Jahr. Wachstumsraten wurden kleiner während der Kindheit, stiegen während der Adoleszenz an und erreichten ein Maximum von 3,1 mm pro Jahr mit etwa 14,3 Jahren. Die Mädchen zeigten eine konstantere kondyläre Wachstumsrate in der Kindheit (2,0 – 2,7 mm pro Jahr), einen kleineren jugendlichen Wachstumsgipfel (2,3 mm pro Jahr) mit ungefähr 12,2 Jahren und eine rapide Verlangsamung nach dem Wachstumsgipfel. Die Jungen zeigten Wachstumsraten zwischen 2,1 bis 3,1 mm pro Jahr und einen jugendlichen Wachstumsgipfel von 3,1 mm pro Jahr mit 14,3 Jahren. Baumrind et al. (1992) hingegen stellten in ihrer Studie an behandelten und unbehandelten Probanden zwischen 8,5 und 15,5 Jahren fest, dass das kondyläre Wachstum relativ konstant bleibt.

### **2.3. Funktionelle Aspekte des Kiefergelenks**

Unter Berücksichtigung anatomischer Beziehungen wird als „Gelenk-Zentrik“ die Position des Condylus im Zenit der Fossa mandibularis bei physiologisch entspannter Lage der

Kondylen und der Kaumuskulatur bezeichnet. Die „zentrische Okklusion“ beschreibt die entsprechenden Zahnkontakte in der beschriebenen Gelenk-Zentrik. Sie sollte optimal annähernd mit der maximalen Interkuspidation, also der maximalen Vielpunktkontaktposition der Kiefer übereinstimmen. Pullinger et al. (1993) kamen zu dem Ergebnis, dass ein Gleiten von der Gelenk-Zentrik zur maximalen Interkuspidation von mehr als 2 mm ein erhöhtes Risiko für eine kranio-mandibuläre Dysfunktion darstellt. Als Okklusion wird jeder Kontakt zwischen den Zähnen des Ober- und Unterkiefers bezeichnet. Die Zahnhöcker treffen mit den korrespondierenden Vertiefungen zwischen den Randwülsten und den Gruben auf den gegenüberliegenden Okklusalfächen punkt- oder strichförmig aufeinander. Somit wird ein funktionelles Optimum erreicht, durch welches die Kaumuskeln mit minimalem Kraftaufwand die größte Wirkung entfalten (Fanghänel et al., 2003).

Wir unterscheiden zwischen statischer und dynamischer Okklusion. Die statische Okklusion bezeichnet Zahnkontakte ohne Bewegung des Unterkiefers. Wir unterscheiden hier zwischen der bereits beschriebenen zentrischen Okklusion und der maximalen Interkuspidation oder auch habituellen Interkuspidation. Die Ruheschwebelage, oder auch Ruhelage, ist die unbewusste Abstandshaltung des Unterkiefers vom Oberkiefer in gerader Kopfhaltung, wenn sich Kau- und Gesichtsmuskulatur nicht kontrahieren. Die Zahnreihen haben einen Abstand von ca. 2 mm und die Kondylen liegen innerhalb oder einen geringen Betrag vor der Retroposition (Lautenbach, 1992). Garnick und Ramfjord (1962) beschreiben das Konzept einer unveränderlichen Ruheschwebelage als weit verbreitet und akzeptiert. Diese dient dem Zahnmediziner als Referenzposition des Unterkiefers für die Analyse und für die Rekonstruktion der Okklusion.

Als dynamische Okklusion bezeichnen wir Zahnkontakte bei Bewegung des Unterkiefers. Die Bewegungen des Unterkiefers werden nicht nur durch die Muskulatur determiniert, sondern gleichzeitig durch die zwei Kiefergelenke die das posteriore Führungssystem darstellen und durch die Zähne, welche als anteriores Führungssystem betrachtet werden können (Kohno und Nakano, 1987; Davies und Gray, 2001). Bei funktionellen Bewegungen der Kiefer beim Kauen, Schlucken oder Sprechen werden alle Bewegungen innerhalb bestimmter Grenzbewegungen durchgeführt. Diese Bewegungen erfolgen in der sagittalen, der horizontalen und der frontalen Ebene und sind Kombinationen mehrerer Grundbewegungen. Wir unterscheiden drei Grundbewegungen der Kiefergelenkbewegung.



### *2.3.1. Öffnungs- und Schließbewegung*

Öffnungs- und Schließbewegung (Abduktion und Adduktion) werden als eine Scharnier-Schiebebewegung beschrieben. Das Öffnen beginnt mit einer reinen Scharnierbewegung und geht in eine Dreh-/Gleitbewegung über. Öffnungs- und Schließbewegung erfolgt ohne Artikulation der Zahnreihen gleichzeitig im rechten und linken Gelenk. Beide Kiefergelenke arbeiten als ein Scharniergelenk mit wandernder Achse (Fanghänel et al., 2003). Nach Schumacher (1997) wird die Scharnierbewegung um eine transversale, durch beide Kondylen verlaufende Achse ausgeführt, die während der Gleitbewegung in sagittaler Richtung nach vorn unten und wieder zurück wandert. Auch die Gelenkscheibe jedes Gelenkes gleitet während der Scharnierbewegung mit dem Condylus am Gelenkhöcker entlang (Baragar, 1984; Osborn, 1989).

### *2.3.2. Vor- und Rückbissbewegung*

Pro- und Retrusion des Unterkiefers findet im oberen, diskotemporalen Gelenk unter Führung der Zahnreihen statt. Der Zustand der Zahnreihen, Form und Stellung der Zähne, sowie die Form des Gelenkhöckers beeinflussen den Bewegungsablauf (Fanghänel et al., 2003 u. a.). Den Weg, den die Kondylen bei der Vorschubbewegung zurücklegen, bezeichnen wir als die sagittale Kondylenbahn. Den Winkel, den sie mit der Okklusionsebene bildet, ist der Kondylenbahnneigungswinkel. Er beträgt 5 bis 55° und verändert sich altersabhängig. Zum Überwinden des Überbisses der Frontzähne und der Höcker-Fossa-Verzahnung im Seitenzahngebiet erfolgt nach Schumacher (1997) während der Vorschubbewegung zuerst eine leichte Drehung um die Scharnierachse. Die unteren Schneidezähne gleiten dabei an den Lingualflächen der oberen bis zu deren Schneidekanten abwärts (Inzisalführung). Danach werden bei weiterem Vorschub des Unterkiefers die unteren Schneidezähne wieder gehoben, und es kommt zu einer Rückdrehung der Kondylen (Schumacher, 1997).

### *2.3.3. Seitwärtsbewegung*

Auch Medio- und Laterotrusion erfolgt unter Führung der Zahnreihen. Der Gelenkkopf der Laterotrusionsseite dreht sich um eine senkrechte Achse in der Pfanne. Der Gelenkkopf der

Mediotrusionsseite gleitet auf dem Gelenkhöcker nach vorn und bringt die Zahnreihe seiner Seite zum Klaffen. Bei dieser Schwenkbewegung wird das Kinn auf die Gegenseite verschoben. Das Mahlen findet auf der Seite der Drehung statt (Fanghänel et al., 2003). Die gesamte räumliche Versetzung des Unterkiefers bei der Initialbewegung des Unterkiefers bei der Laterotrusion nennen wir „Bennett-Bewegung“. Als Bennett-Winkel wird der Winkel zwischen sagittaler Bewegungsrichtung des Condylus bei symmetrischer Vorschubbewegung und Bewegungsrichtung des schwingenden Kondylus auf der Balanceseite bezeichnet. Er beträgt zwischen 11 und 20° (Baragar, 1984; Lautenbach, 1992).

Wir kennen verschiedene Okklusionskonzepte. In der Kieferorthopädie wird die fronteckzahngeführte Okklusion angestrebt. Hierbei kommt es zur Front- bzw. Eckzahnführung auf der Laterotrusionsseite mit Disklusion der übrigen Zähne auf der Laterotrusions- und Mediotrusionsseite. Auch bei der Rekonstruktion des normal verzahnten vollbezahnten Gebisses, aber auch im teilbezahnten Gebiss wird dieses Okklusionskonzept verfolgt. Eine stabile obere und untere Front sollte vorhanden sein. Da Eckzähne sehr lange Wurzeln haben, ist die Wurzel/Kronen-Ratio beim Eckzahn besser als bei anderen Zähnen. Eckzähne sind daher besonders geeignet, die bei der Laterotrusion oder Seitwärtsbewegung auftretenden horizontalen Kräfte abzufangen und die übrigen Zähne zu entlasten (Standlee et al., 1979). Die unilateral balancierte Okklusion wird bei knappem Überbiss der Frontzahnreihen angestrebt. Die Seitenzähne der Laterotrusionsseite übernehmen gemeinsam mit dem Eckzahn, eventuell auch mit den Frontzähnen der Laterotrusionsseite, zusammen mit den Kiefergelenken die Bewegungsführung des Unterkiefers. Die bilateral balancierte Okklusion wird angewendet, wenn im Kauorgan keine frontalen Führungsflächen vorhanden sind. Sie ist hauptsächlich in der Totalprothetik verwendete Okklusionskonzept. Es ist gekennzeichnet durch Gruppenkontakte aller Zähne auf der Laterotrusionsseite bei gleichzeitigem Kontakt von möglichst vielen Zähnen auf der Mediotrusionsseite (Lehmann und Hellwig, 2002). Al-Hiyasat et al. (2004) führten eine Untersuchung an unbehandelten Kindern zwischen 14 und 17 Jahren durch. Die eckzahngeführte Okklusion wurde bei 57% der Kinder gefunden und die frontzahngeführte Okklusion bei der Protrusionsbewegung zeigte sich bei 78% der Kinder. In der Studie von Parnia et al. (2008) an 50 unbehandelten Probanden mit einer Angle Klasse I zeigten 60% der Untersuchten eine Gruppenführung auf der Arbeitsseite bei rechtslateralen Bewegungen. Im Gegensatz dazu zeigten nur 17% der Untersuchten eine eckzahngestützte Führung bei der Lateralbewegung nach rechts. Auch die linkslateralen Bewegungen brachten

ähnliche Ergebnisse. 51 % der Probanden hatte eine Gruppenführung und nur 21 % eine Eckzahnführung. Als Hyperbalancekontakt verstehen wir die Berührung der Zahnhöcker auf der Mediotrusionsseite (Balanceseite) während der Laterotrusion. Diese Kontakte werden auch als Balancekontakte oder Vor-/Frühkontakte bezeichnet und führen zur Disklusion der Arbeitsseite. Diese führen zur Störung der Artikulation der Arbeitsseite (Lautenbach, 1992). Sie können durch falsch stehende Einzelzähne, insuffiziente Rekonstruktionen in der konservierenden oder prothetischen Therapie oder aber durch Funktionsstörungen im Kiefergelenk entstehen. Hyperbalancen werden häufig in Zusammenhang mit sogenannten kraniomandibulären Dysfunktionen (CMD) festgestellt. Als Zwangsbiss bezeichnen wir eine zwangsweise veränderte Schlussbisslage des Unterkiefers, beispielsweise in Folge eines gekippten Zahnes. Durch den prognen Zwangsbiss falsch verzahnter Frontzähne wird der Unterkiefer in eine mehr anteriore Schlussbisslage gezwungen. Beim distalen Zwangsbiss ist die Schlussbissstellung distaler als die Ruhelage. Der Unterkiefer wird durch Form und Stellung der oberen Zähne in distale Richtung gezwungen. Beim lateralen Zwangsbiss weicht er entsprechend zu einer Seite ab. Vom Zwangsbiss zu unterscheiden ist die sogenannte Laterognathie. Hier kommt es durch skelettale Asymmetrien zum kompletten Seitenversatz des Unterkiefers. Häufig ist dieser Sachverhalt auch eine Folge von traumatisierenden Einwirkungen und damit verbundenen Wachstumshemmungen oder Wachstumsveränderungen des entsprechenden Kiefergelenkes.

#### **2.4. Instrumentelle Funktionsanalyse**

Zahlreiche Versuche wurden unternommen, die Bewegungen des Unterkiefers instrumentell aufzuzeichnen, um die Biomechanik des Kiefergelenks untersuchen zu können und um in der Lage zu sein kraniomandibuläre Dysfunktionen zu diagnostizieren und deren Therapie planen zu können. Von Gysi (1910) wurde eine graphische Methode beschrieben, um die Bewegungen des Unterkiefers aufzeichnen zu können. McCollum gründete 1926 die Gnathological Society of California, nachdem er 1924 die erste positive Methode entdeckte, um die Scharnierachse zu lokalisieren ([www.gnathologyusa.org/History.html](http://www.gnathologyusa.org/History.html)). Es wurde ein extraoral zu befestigendes Gerät entwickelt mit dem in drei Ebenen auf Aufzeichnungsplatten die Unterkieferbewegungen aufgezeichnet werden konnten. 1934 wurde der McCollum Gnathograph entwickelt. Mit diesem Gerät war es nun nicht nur möglich, mandibuläre Bewegungen aufzuzeichnen, sondern diese ebenso akkurat zu reproduzieren. 1955 patentierte

Stuart einen Pantographen und einen Artikulator (Mc Collum und Stuart, 1955; Starcke, 2002). Später folgte der Denar Pantograph und Artikulator (Denar Corp., Anaheim, Calif.) [Denar Corp, 1966; Donaldson, Clayton, 1986]. Es folgten viele Weiterentwicklungen in diesem Bereich. Das Ziel bestand darin eine Apparatur zu entwickeln, die akkurat zu benutzen war, weniger komplex, leichter, und einfacher im Gebrauch. Die ersten Apparaturen waren relativ groß und schwer gestaltet. Sie bestanden aus einem extraoralen Gesichtsbogen, Aufzeichnungsplatten und Befestigungspins. Durch die Entwicklung der computerunterstützten Geräte war es nun möglich, die Registrierungsapparate leicht genug zu konstruieren, sodass die mandibulären Bewegungen möglichst nicht beeinflusst wurden. Kucukkeles et al. (2005) verglichen die mechanischen und die computerunterstützten Systeme miteinander. Die Ergebnisse zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Aufzeichnungen beider Systeme. Die computergestützten Systeme setzten sich durch. Sie waren einfacher in der Handhabung, patientenfreundlicher und die Untersuchungsergebnisse durch das Ersetzen der Pins durch elektronische Sensoren auch sehr gut wiederholbar. Für die instrumentelle elektronische Funktionsanalyse stehen gegenwärtig zahlreiche Messsysteme mit entsprechender Software zur Verfügung: Win Jaw für den Jaw-Motion-Analyser (Fa. Zebris), CADIAX und CADIAX-Compact (Fa. Gamma), String-Condylcomp (Fa. Dentron), ARCUS-Digma (Fa. KaVo, Leutkirch), ARTICUS (Schrader, Berlin), IPR-System (Vogel, Heinze, Leipzig), Rosy-System (Edinger, Hamburg). Die instrumentelle Funktionsanalyse dient vor allem der Objektivierung der Funktionstüchtigkeit des stomatognathen Systems und zur (Verlaufs-) Dokumentation in der Therapie von Störungen dieses Systems. Die Axio-graphie ermöglicht eine genaue Analyse der Bewegungen des Unterkiefers und der Kiefergelenke. Die Bewegungen können mit einer Genauigkeit von 6 Freiheitsgraden wiedergegeben werden (Wessling, 2003; Baquaien et al., 2007; Reicheneder et al., 2008). Der Jaw-Motion-Analyzer® (Fa. Zebris, D-Isny) arbeitet mit 3 aktiven Piezo- Ultraschallgebern, welche in einer Kunststoffhülse fest vergossen sind und ihr Signal über eine Lochblende abgeben. Im Kopfteil der Apparatur sind drei Empfänger eingelassen. Die Laufzeitmessung erlaubt durch das Auswertprogramm WinJaw eine genaue Angabe beliebiger Punkte des Objektes im Raum (Zebris, 1999). Das CADIAX-Compact System ist ein auf elektromechanischer Basis arbeitendes Gerät (Slavicek, 1988; Celar, Tamaki, 2002) und das 3Space Fastrak System (Polhemus, Colchester, VT) ein mit patentierter magnetischer Niedrig-Frequenz Übertragungstechnologie ausgestattetes System (Yoon et al., 2006; [www.vrlogic.com/html/polhemus/3space\\_fastrak.html](http://www.vrlogic.com/html/polhemus/3space_fastrak.html)).

## 2.5. Einteilung der Okklusion nach Angle

Der Zustand wohlgeformter Zahnbögen mit regelrechter Okklusion bezeichnen wir als Eugathie (eu griech. wohlgeformt). Zur Erreichung dieses Zustands bedient man sich in der Kieferorthopädie verschiedener Methoden der Wachstumskontrolle. Für die Einteilung von sagittalen Abweichungen am Patienten oder am kieferorthopädischen Modell werden die Angle-Klassen verwendet. Als Neutralokklusion (Angle-Klasse I) wird die regelrechte Okklusion bezeichnet. Sie ist dann vorhanden, wenn der mesiobuccale Höcker des oberen 1. Molaren zwischen den beiden buccalen Höckern des unteren 1. Molaren okkludiert und der obere Eckzahn zwischen unterem Eckzahn und 1. Prämolaren greift. Erfolgt die Okklusion des unteren 1. Molaren weiter distal, wird von einer Distalokklusion (Angle-Klasse II, Untergruppen: II/1 mit Anteinklination der OK-Front, II/2 mit Retroinklination der OK-Front) gesprochen. Ist die Okklusion weiter nach vorne verlagert, dann handelt es sich um eine Mesialokklusion (Angle-Klasse III). Die Stärke der Abweichungen wird in Prämolarenbreiten angegeben. In der von E. H. Angle 1887 vorgeschlagenen Einteilung wird fälschlicherweise angenommen, dass der obere Sechsjahrmolar eine unverrückbare Orientierung darstellt (Dogma der Molarenkonstanz). Trotzdem bildet seine Einteilung auch heute noch eine Grundlage für die Klassifizierung von Dysgnathien (Schumacher, 1997). Die Beurteilung aufgrund der „Molarenkonstanz“ und der fehlenden ätiologischen Berücksichtigung nach Angle (1887) führte dazu, dass durch neue Einteilungen versucht wurde, Angles Klassifikation zu ergänzen oder zu ersetzen. Eine Unterscheidung in Okklusion und Bisslage erscheint wesentlich sinnvoller. Als Okklusion wird bei Angle (1887) lediglich das Verzahnungsbild zweier Zähne bezeichnet, ohne dass eine Aussage über die Lage des Unterkiefers gemacht wird, während der Begriff Bisslage die sagittale Lagebeziehung der unteren zur oberen Kieferbasis angibt. Um von der Okklusion auf die Bisslage schließen zu können, ist eine Rekonstruktion, d. h. eine gedankliche Korrektur falsch stehender Seitenzähne erforderlich. Rekonstruiert werden pathologische Mesial- bzw. Distalwanderungen von Seitenzähnen und noch zu erwartende physiologische Mesialwanderungen (Schopf, 2008). Die Okklusion der Zähne ist nicht vorwiegend ein mechanisches Arrangement, sondern mehr der sichtbare Ausdruck des Knochenwachstums. Die Okklusion wird ständig verändert, so wie das Wachstum fortschreitet, vom Durchbruch der Milchzähne bis zur Einstellung der bleibenden Zähne. (Diedrich, 2000).

### **3. Patienten und Methoden**

#### **3.1. Patienten**

In der vorliegenden Arbeit wurden zwei Patientengruppen untersucht. Die Hauptgruppe (GR 1) bestand aus 92 Kindern (48 ♂, 44 ♀) im Alter vom 7,2 bis 10,6 Jahren. Die Kontrollgruppe (GR 2) bestand aus 20 Erwachsenen (10 ♂, 10 ♀) zwischen 18 und 34,7 Jahren. In der Hauptgruppe wurden zwei Grundschulen in der Bundesrepublik Deutschland ausgewählt. Schule 1 ist eine Grundschule in Regensburg, Schule 2 ist eine Grundschule in Paderborn. Die Kinder mit vorliegender Einverständniserklärung der Eltern zur geplanten Untersuchung wurden in die Hauptgruppe aufgenommen. Keines der untersuchten Kinder war zuvor in kieferorthopädischer Behandlung. Die Kinder wiesen verschiedene Okklusionen auf. Bei den untersuchten erwachsenen Personen handelte es sich um Personen, welche zufällig ausgesucht wurden. Sie waren über die Untersuchung aufgeklärt. Alle Personen der Erwachsenenkontrollgruppe hatten ein voll bezahntes permanentes Erwachsenengebiss und waren konservativ versorgt. Es durften keine prothetischen Restaurationen wie Kronen oder Brücken vorhanden sein. Alle Teilnehmer wiesen eine normale Kiefergelenkfunktion, sowie ein schmerzfreies stomatognathes System auf.

#### **3.2. Methoden**

Die Untersuchung bestand aus zwei Abschnitten. Zunächst wurde eine klinische Untersuchung durchgeführt, anschließend folgte eine instrumentelle Untersuchung.

##### **3.2.1. Klinische Untersuchung**

Wir holten jedes Kind einzeln aus dem Klassenraum ab und untersuchten es. Zunächst wurde das Kind auf einem vorgefertigten Untersuchungsbogen (Abb. 1) registriert, im Hinblick auf Namen, Vornamen, Geburtsdatum und Geschlecht. Der Untersuchungsbogen gliederte sich wie folgt:

- *Name, Vorname, Geburtsdatum, Geschlecht*

Die Angaben des Kindes wurden mit denen aus der Liste der Lehrer abgeglichen.

- *KFO-Behandlung, Gewicht, Größe*

Das Kind sollte beantworten, ob bereits schon einmal eine kieferorthopädische Behandlung stattgefunden hat oder zur Zeit noch durchgeführt wird. Das Gewicht des Kindes erfassten wir mit einer Personenwaage. Die Messung erfolgte mit Kleidung und Schuhen. Die Größe wurde mit einem Zollstock gemessen, wobei das Kind ebenfalls seine Schuhe anbehalten konnte.

- *Habituelle Okklusion: Rechts 6/6, 3/3 ; Links 6/6, 3/3;  
Wechselgebissphase (frühe/späte/Ruhephase)*

Die habituelle Okklusion an den bleibenden Sechsjahrmolaren (6er) rechts und links und an den Milcheckzähnen (3er) rechts und links wurde registriert. Die Angaben erfolgten in Prämolarenbreiten (PB) bezogen auf die neutrale Position. Es wurde in  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  und 1 PB in die entsprechenden Richtungen mesial (m) und distal (d) angegeben. Die Milcheckzähne wurden entsprechend der Angaben in PB bezüglich der habituellen Okklusion registriert. Mittellinienverschiebungen (MLV) im Ober- oder Unterkiefer rechneten wir zur Ermittlung der habituellen Okklusion entsprechend zurück. Nach der Ermittlung der habituellen Okklusion und nach entsprechender Korrektur des Leeway-Space wurde jedes Kind in die ermittelte Angle-Klasse (Klasse I, II/1, II/2 und III) eingeteilt. Die Einteilung eines Kindes in die entsprechende Wechselgebissphase richtete sich nach dem jeweiligen Dentitionsstand. Befanden sich die Fronten noch im Wechsel, handelte es sich um ein frühes Wechselgebiss (WG). Hatten die Fronten bereits gewechselt und die 6er waren auf Okklusionsebene, befand sich das Kind in der Ruhephase. Wechselten bereits die Milchmolaren mit den bleibenden Prämolaren, bzw. wurden die Milcheckzähne durch die bleibenden Eckzähne ersetzt, handelte es sich um die späte Wechselgebissphase.

- *Overjet, Overbite, Knirscher*

Der sagittale Frontzahnüberbiss (Overjet) wurde in mm gemessen. Ausgehend von den Inzisalkanten der oberen Frontzähne wurde ihr Abstand in der Sagittalen von den Labialflächen der unteren Frontzähne gemessen. Der Overjet nimmt positive Werte an, wenn die oberen Inzisivi die unteren nach anterior übergreifen. Der Wert wird Null, wenn die oberen und unteren Inzisiven im Kopfbiss stehen, der Wert wird negativ, wenn die unteren die oberen nach anterior im Schlussbiss übergreifen. Der vertikale Frontzahnüberbiss (Overbite)

wurde in mm gemessen und beschreibt den Abstand der Inzisalkanten von oberer und unterer Front. Der Wert wird positiv, wenn sich die Fronten von frontal gesehen überdecken; er wird Null, wenn die Inzisalkanten der Oberkieferfrontzähne und die der Unterkieferfrontzähne sich im Schlussbiss auf der selben Höhe befinden. Der Wert wird negativ, wenn ein frontal offener Biss vorliegt und im Schlussbiss die Fronten die Zahnreihen nach lingual hin offen lassen. Jedes Kind wurde auf Schliffacetten untersucht und nach Gewohnheiten wie Zähneknirschen gefragt, sowie entsprechend als Knirscher eingeordnet.

- *CMD-Kurzbefund:*  
*Kiefergelenkschmerzen, Okklusale Geräusche, Mundöffnung asymmetrisch,*  
*Fazialer Typ (dolichofazial/brachyfazial/normofazial)*

Der kranio-mandibuläre Dysfunktion-Kurzbefund umfasste die Palpation und Auskultation der Kiefergelenke. Das Kind wurde nach Schmerzen im Bereich der Kiefergelenke befragt und es wurde nach okklusalen Geräuschen untersucht. Jedes Kind sollte zwei bis dreimal langsam den Mund öffnen und wieder schließen. Somit wurden Asymmetrien im Bereich der Mundöffnung registriert. Die Einordnung eines Kindes in den Fazialen Typus erfolgte nach Palpation und visueller Kontrolle des Hirn- und Gesichtsschädels. Bei Einteilung in die mehr breite und kurze Schädel- und Gesichtsform wurde der Patient als brachyfazial bezeichnet. Bei einer schmalen und langen Schädel- und Gesichtsform als dolichofazial. Normofazial wurde bei durchschnittlichen Formen zugeordnet.

Nach dem vollständigen Ausfüllen des Untersuchungsbogens erstellten wir von jedem Kind extra- und intraorale Photos. Es wurde ein Bild in der Frontalansicht (en face) und eine Aufnahme in der Lateralansicht von links erstellt, intraoral erfolgten alle Bilder in Schlussbisslage. Jeweils eine frontale und eine laterofrontale Aufnahme der frontalen Situation, anschließend ein Bild der Region der Sechsjahrmolaren rechts und links. In der Erwachsenenkontrollgruppe wurde vor der Messung ebenfalls systematisch der Untersuchungsbogen ausgefüllt. Anders als in der Kindergruppe konnte bei den Erwachsenen die Einteilung in die entsprechende Angle-Klasse (Klasse I, II/1, II/2 und III) direkt vorgenommen werden. Alle Erwachsenen wiesen ein permanentes Erwachsenengebiss auf, sodass die Umrechnung über den Leeway-Space nicht durchgeführt werden musste. Gewicht und Größe gaben die Erwachsenen selbst an. Es wurde keine fotografische Dokumentation bei den Erwachsenen durchgeführt.

Der Untersuchungsbogen wurde wie folgt gestaltet (Abb. 1)



**Untersuchungsbogen Jaw-Motion-Analyser (JMA)**

Name, Vorname:

Geburtsdatum:

Geschlecht:

KFO – Behandlung?:

**Habituelle Okklusion:**

Rechts:            6/6:                            3 III/3 III:

Links:            6/6:                            3 III/3 III:

Wechselgebissphase (frühe, späte, Ruhephase):

Angle-Klassifikation:

Overjet (sag.):

Overbite (vert.):

Knirscher? :

**CMD-Kurzbefund:**

Kiefergelenkschmerzen?

Okklusale Geräusche?

Mundöffnung asymmetrisch?

Fazialer Typ (dolichofazial, brachyfazial, normofazial):

Gewicht:

Größe:

Abb. 1. Untersuchungsbogen JMA (Jaw-Motion-Analyser, Fa Zebris)

### **3.2.2. Instrumentelle Untersuchung**

Die instrumentelle Untersuchung erfolgte durch die axiographische Vermessung der Kiefergelenkfunktion und der Bewegungen des Unterkiefers mit dem JMA®-System (Ver. 10.05.03, Jaw Motion Analyzer, Zebris Medical GmbH, Isny, Germany). Das JMA-System ermöglicht eine berührungslose Bestimmung aller Bewegungsfreiheitsgrade des Unterkiefers nach der Methode der Laufzeitmessung von Ultraschallimpulsen mit einer Übertragungsfrequenz von bis zu 75 Hz, beispielsweise die Echtzeitmessung von sequenziell übermittelten Ultraschallimpulsen mit einer Frequenz von 40 Hz zwischen einem Messsensor (befestigt an den Vestibulärflächen der Unterkieferfrontzähne) und einem Empfängersensor (befestigt am angelegten Gesichtsbogen). Die Bewegungen werden mit einer Genauigkeit von 0,1 mm im Inzisalbereich und 0,2 bis 0,3 mm im Kondylenbereich aufgezeichnet (Hugger et al. 2001). Die Sensoren sind über ein Grundgerät mit einem Rechner verbunden. Das JMA-System läuft unter dem Software-Programm WinJaw Version 10.05.03 unter dem Betriebssystem XP (WinJaw Bedienungsanleitung 02/2005). Die Software erlaubt vier Standarduntersuchungen:

- Messung der Parameter zur Artikulatoreinstellung
- Funktionsanalyse
- Elektronische Positionsanalyse der Kondylen
- Bestimmung der palatinalen Frontzahnkontur

In der vorliegenden Arbeit wurde ausschließlich die Funktionsanalyse verwendet. Die Untersuchungsergebnisse werden auf einem Computerbildschirm dargestellt (Abb. 2).

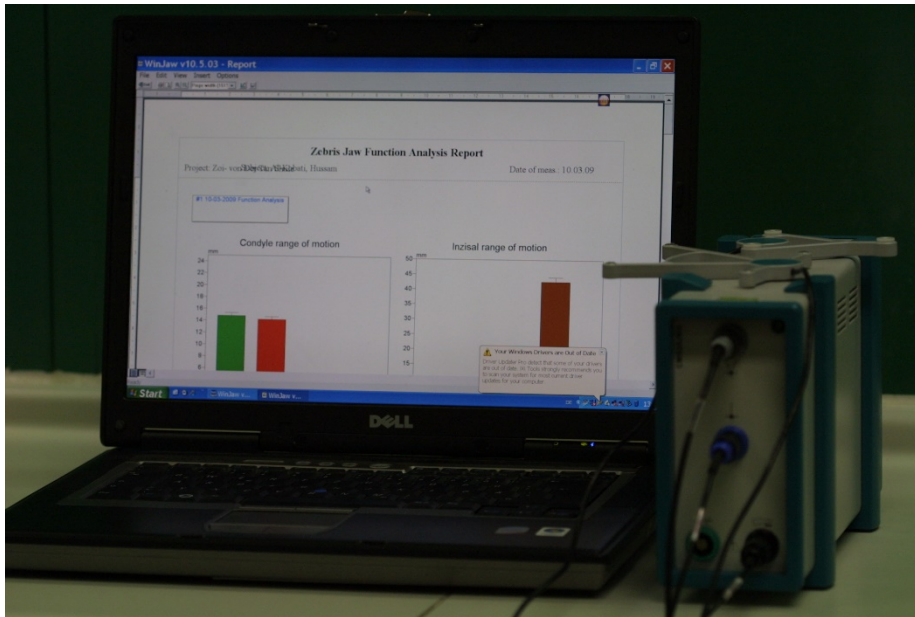


Abb. 2. JMA-System am Computer angeschlossen; die Untersuchungsergebnisse werden auf dem Display dargestellt.

Zur Vorbereitung der Messung wurde der Gesichtsbogen des JMA-Axiographiegerätes angelegt. Der Gesichtsbogen wird am Nasion aufgesetzt und mittels des vorgespannten Bogens am Hinterkopf oberhalb der Ohren adaptiert. Der Empfangssensor wird mittels eines Magnetverschlusses am Gesichtsbogen befestigt (Abb. 3-7).

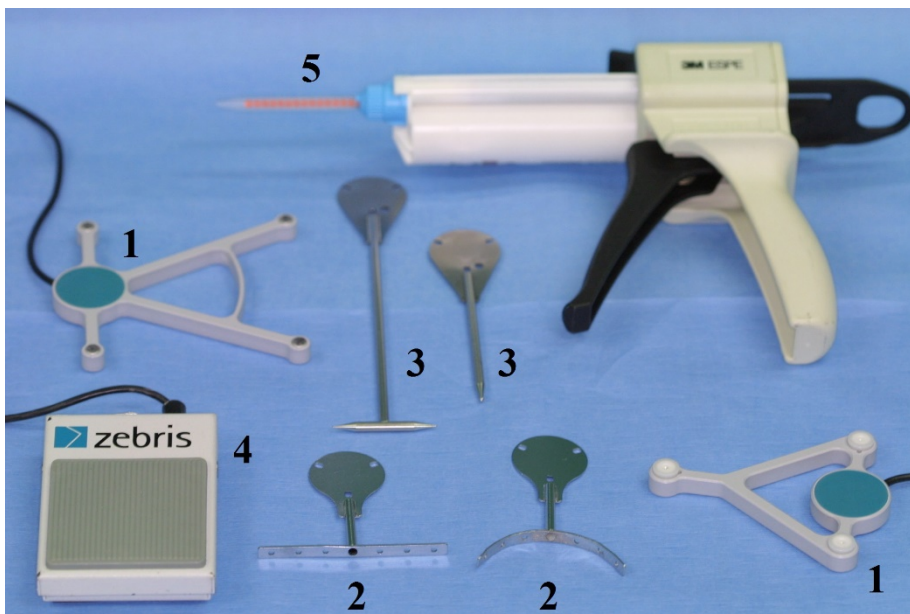


Abb. 3. Übersicht über das Instrumentarium; 1-Sensoren, 2-Bissgabeln, 3-Pointer, 4-Pedal und 5-Composite.

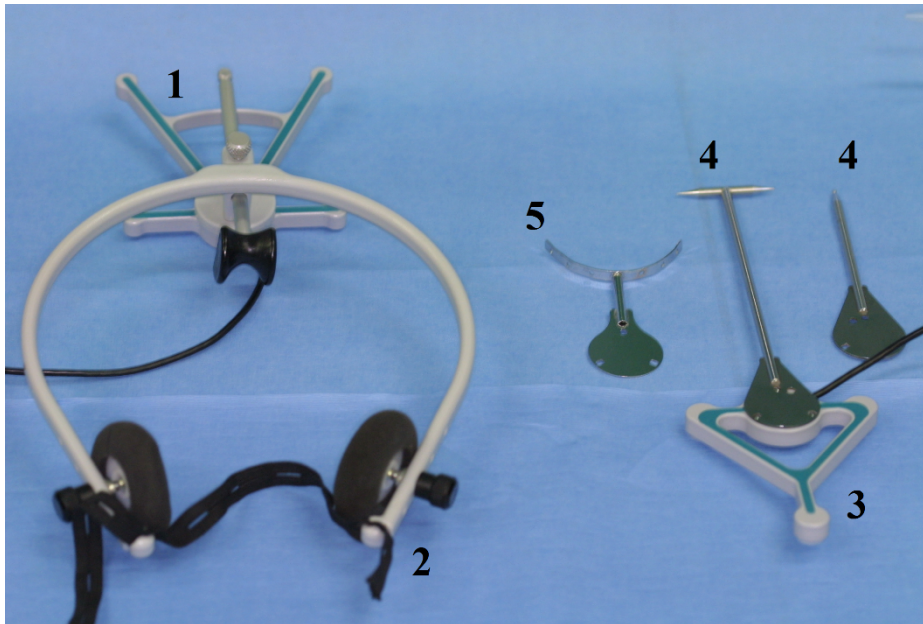


Abb. 4. Der Empfangssensor (1) mit Gesichtsbogen (2) und Unterkiefersensor (3) mit Pointer (4) und Bissgabel (5).

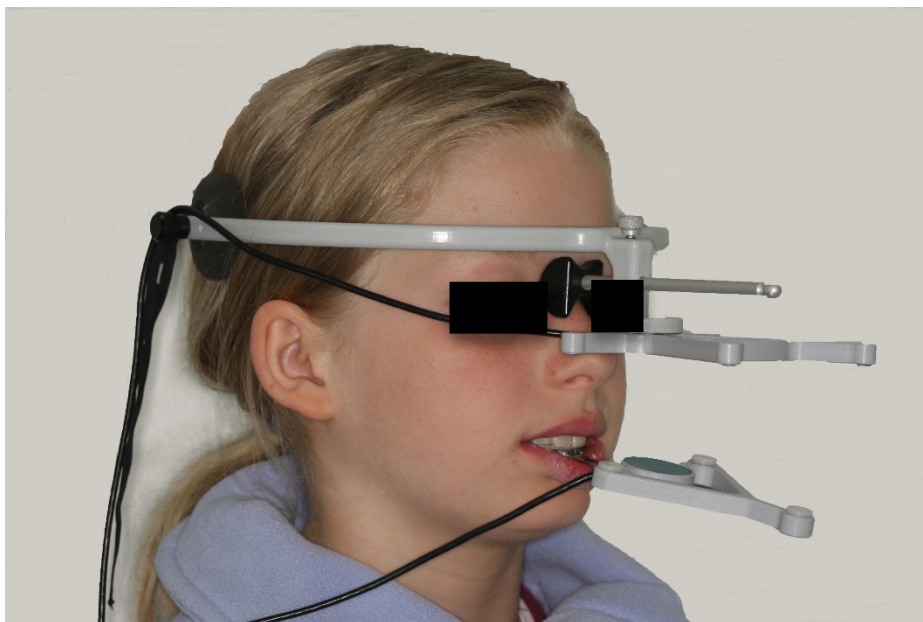


Abb. 5. Patientin im 45°-Winkel von rechts mit angelegtem Gesichtsbogen und Sensoren.

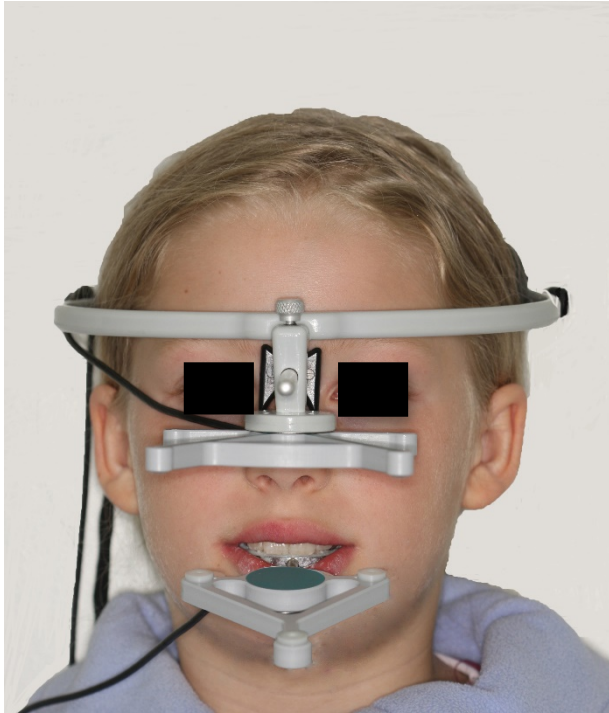


Abb. 6. En Face-Photo der Patientin mit angelegtem Gesichtsbogen und Sensoren.

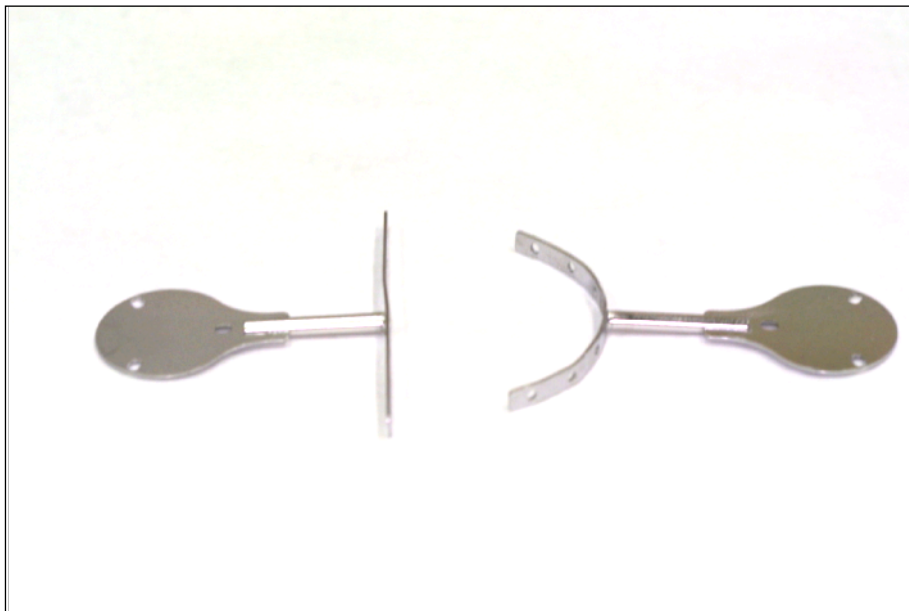


Abb. 7. Bissgabel links im mitgelieferten Zustand, rechts im an die Labialflächen der Unterkieferfrontzähne eines Patienten adaptierten Zustand, vor der Individualisierung mit Composite.





Abb. 8a. Intraorale Abbildung, okklusale Aufsicht. Die Bissgabel ist an den Labialflächen der Unterkieferfrontzähne befestigt. Diese darf während der Registrierung die Bewegungen nicht störend wirken.



Abb. 8b. Intraorale Abbildung, frontale Ansicht.

Wir achteten dabei darauf, dass die Ultraschallsensoren möglichst parallel zur Frankfurter Horizontalen ausgerichtet waren. Zunächst musste als Bezugsebene die Achs-Orbitalebene definiert werden. Diese wird über die Taststift-Funktion des Messsystems eingegeben. Zur Eingabe der Achs-Orbitalebene wird nacheinander der linke und rechte Kondylenpunkt eingegeben. Nach der individuellen Vorgabe der Punkte in den Einstellungen werden diese durch Eingabe des Tragus superior („Ear tragus superior“) vorgegeben. Standardmäßig wird der T-Zeiger benutzt. Mittels Magnethalterung wird dieser am Messsensor befestigt. Die Eingabe erfolgt zunächst links, dann rechts. Es ist darauf zu achten, dass sich während der Übernahme der Punkte das Messkreuz parallel unterhalb des Empfangssensors befindet. Zur Eingabe des Orbitalpunktes wird der kurze Zeiger am Messsensor befestigt. Die Spitze des Zeigers wird nun vorsichtig an den tiefsten knöchernen Punkt der linken Augenhöhle des

Patienten geführt. Es ist wieder darauf zu achten, dass das Messkreuz etwa parallel unterhalb des Empfängersensors zu halten ist. Die Ausrichtung des Unterkiefersensors erfolgte, nachdem eingehend der Biss des zu untersuchenden Patienten geprüft wurde. Die Befestigung des Unterkiefersensors erfolgte paraokklusal starr an den Labialflächen der Unterkieferfrontzähne und wurde auf die Labialflächen der unteren Frontzähne geklebt (Abb. 8a, b). Dafür wurde das T-förmige, mit Retentionen versehene Metallattachment zunächst der Frontzahnkontur entsprechend angebogen und mit Protemp• unterlegt. Die Adaptation musste so erfolgen, dass die Funktionsbewegungen aus der habituellen Interkuspidation nicht gestört wurden. Überschüssige Kunststoffreste wurden entfernt und das Material härtete zwei bis drei Minuten aus. Anschließend wurden Unterkieferbewegungen durchgeführt und bei den Bewegungen ggf. noch störende Materialreste entfernt. Befestigt wurde das kunststoffunterlegte Metallattachment möglichst weit inzisal mit zwei Tropfen Acrylkleber (Cyano-Veneer• ) auf die mit Watterollen abgetupften, also noch leicht feuchten speichelbenetzten Labialflächen der unteren Frontzähne. Wenn ein zu untersuchender Patient einen sehr tiefen Biss hatte, musste die paraokklusale Gabel soweit wie möglich kaudal angebracht werden, um ein unbehindertes Bewegungsspiel des Unterkiefers zu ermöglichen. Gleichzeitig musste die Länge des Metallattachments bis in den Prämolaren- und Molarenbereich des Unterkiefers verlängert werden. Die Gabel musste fest sitzen und durfte keinerlei Lockerungsgrade aufweisen. Zur Kalibrierung der Software mussten jeweils drei Maximale Mundöffnungen und Protrusionen aus der Schlussbisslage durchgeführt werden. Diese wurde mit dem Patienten zunächst kurz geübt und anschließend aufgezeichnet. Bei der Aufzeichnung sitzt der Untersucher vor dem aufrecht und entspannt sitzenden Patienten und vollführt spiegelbildlich gemeinsam mit dem Probanden die entsprechenden Unterkieferbewegungen. Der Beginn einer jeden Bewegung wurde aus der Schlussbisslage gestartet und erst nach einem akustischem Signal, welches der Untersucher mit einem Fußpedal steuert und gleichzeitig das Programm mit der Echtzeitaufzeichnung aktiviert, begonnen. Nach der Kalibrierung erfolgten die durch den Untersuchungsplan festgelegten Bewegungen: Maximale Mundöffnung, maximale Protrusion, Laterotrusion links, Laterotrusion rechts, Posselt Frontal und Posselt Sagittal. Um Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit zu gewährleisten, wurde jede Bewegung zweimal wiederholt. Jede Bewegung begann und endete in der Schlussbisslage (maximale Interkuspidation). Nach den Aufzeichnungen wurden die Sensoren entfernt und die Apparatur abgenommen. Die paraokklusale Gabel und eventuelle Materialrückstände wurden dem Patienten entfernt. Nach der Untersuchung sollte sich jeder Patient die Zähne gründlich reinigen. Bei den erwachsenen

Patienten wurden zwei Untersuchungsdurchläufe vollzogen. Es wurde eine Entspannungszeit zwischen den zwei Untersuchungen von mindestens 15 Minuten eingehalten.

### **3.3. Software-Verfahren**

Vor der geplanten Messreihe mussten die Einstellungen entsprechend der eigenen Untersuchungsanordnungen neu konfiguriert werden. Im Menü der Einstellungen der Funktionsanalyse wurde festgelegt, durch welche Strukturen die Kondylenpunkte und somit die Achs-Orbitalebene bestimmt werden sollten. Als Achsenposition wurde der Ear tragus superior gewählt. Die Eingabe der Kondylenpunkte kann dann arbiträr durch direktes Abtasten von Hautpunkten mit dem T-Zeiger erfolgen. Es ist so möglich, den Tragus-Oberrand links und rechts einzugeben. Die Offsetwerte zur Kondylenposition werden, in Anlehnung an die Originalarbeit von Reiber und Dickbertel (1988), vom Programm automatisch durch die Verwendung spezieller Algorithmen hinzugefügt. Unter Incisal Position wurde festgelegt, wie der Inzisalpunkt bestimmt wird. Durch die Auswahl der Attachmentlänge von 60 mm wird der Inzisalpunkt automatisch aus der jeweiligen Dimension des Kieferattachments abgeleitet. Unter Axis Length wurde die Länge der Interkondylarachse als feste Größe von 110 mm eingegeben. Unter Übung wurden die einzelnen Untersuchungsschritte festgelegt. Hierbei wurden unterschiedliche Bewegungen für die Funktionsanalyse gewählt. Bei der Funktionsanalyse wurden mehrere Bewegungszyklen pro Durchlauf festgelegt. Folgende Bewegungen wurden je zweimal durchlaufen: maximale Mundöffnung, maximale Protrusion, Laterotrusion links, Laterotrusion rechts, Posselt Frontal und Posselt sagittal. Die Bewegungen sollten bis zur Bewegungsfunktionsgrenze durchgeführt werden. Nach der durchgeführten Untersuchung kann diese sofort auf dem PC in Echtzeit wiedergegeben werden oder in Form eines Reportes in tabellarischen Darstellungen ausgewertet werden. Die Bewegungen werden gemittelt und die Parameter im Report automatisch ausgegeben.

#### *Report:*

Der Report zur Funktionsanalyse wurde auf fünf Blättern dargestellt (Abb. 9 – 13).

#### *Seite 1:*

Bewegungsausmaß Kondylen:



Im linken Balkendiagramm ist die Länge der Bewegungsspur des linken (roten) und rechten (grünen) Condylus bei der maximalen Mundöffnung und bei der Retrusion in Millimetern dargestellt.

Bewegungsausmaß Inzisalpunkt:

Das rechte Balkendiagramm zeigt die Beweglichkeit des Inzisalpunktes in der frontalen Projektion, bei der Laterotrusion links (rot) und rechts (grün), sowie bei der Mundöffnung (gelb). Die Nullposition wird in beiden Diagrammen bei der Kalibrierung in der Interkuspidation ermittelt. Zusätzlich zu den Mittelwerten wird die Standardabweichung als Zahlenwert und als Liniengrafik gezeigt. Die Einheit aller Messwerte wird in Millimeter wiedergegeben.

Öffnung und Schließen:

Die abgebildeten Diagramme zeigen Phasendarstellungen der Interkondylarachse der Öffnungs- und Schließbewegungen. Die Interkondylarachsen sind verkürzt dargestellt, so dass die Winkel vergrößert sind. Die abgebildeten Analysen zeigen die Synchronität von Bewegungsabläufen. Bei Bewegungslimitationen im Kondylenbereich zeigen die Phasendarstellungen verschiedene Winkelvariationen und somit einen unregelmäßigeren Verlauf.

*Seite 2:*

Öffnen:

Die abgebildeten Diagramme zeigen die Bewegungsabläufe bei der maximalen Mundöffnung. In der linken Spalte sind die Werte für den rechten Condylus (grün) dargestellt, in der Mitte wird der Inzisalpunkt (braun) gezeigt und in der rechten Spalte wird der linke Condylus (rot) dargestellt. Die erste Zeile entspricht der Transversalebene, die zweite Zeile der Frontalebene und die dritte Zeile der Sagittalebene.

Translation-Rotation rechts / Translation-Rotation links:

Die abgebildeten Diagramme zeigen die Vorschubgeschwindigkeiten der Interkondylarachse bei der Öffnungs- und Schließbewegung. Die durchgezogene grüne Linie stellt die Geschwindigkeitskurve der rechten Seite bei der Mundöffnung dar. Die rote Kurve zeigt die linke Seite. Die gestrichelten Linien betreffen die Schließbewegung. Wir führten zwei Bewegungszyklen nacheinander durch, sodass im Diagramm die entsprechende Anzahl an Kurven übereinander gezeichnet ist. Bei einer ungestörten Vorschubbewegung der Interkondylarachse stellen sich die Kurven in einer Glockenform dar. Die in den Diagrammen

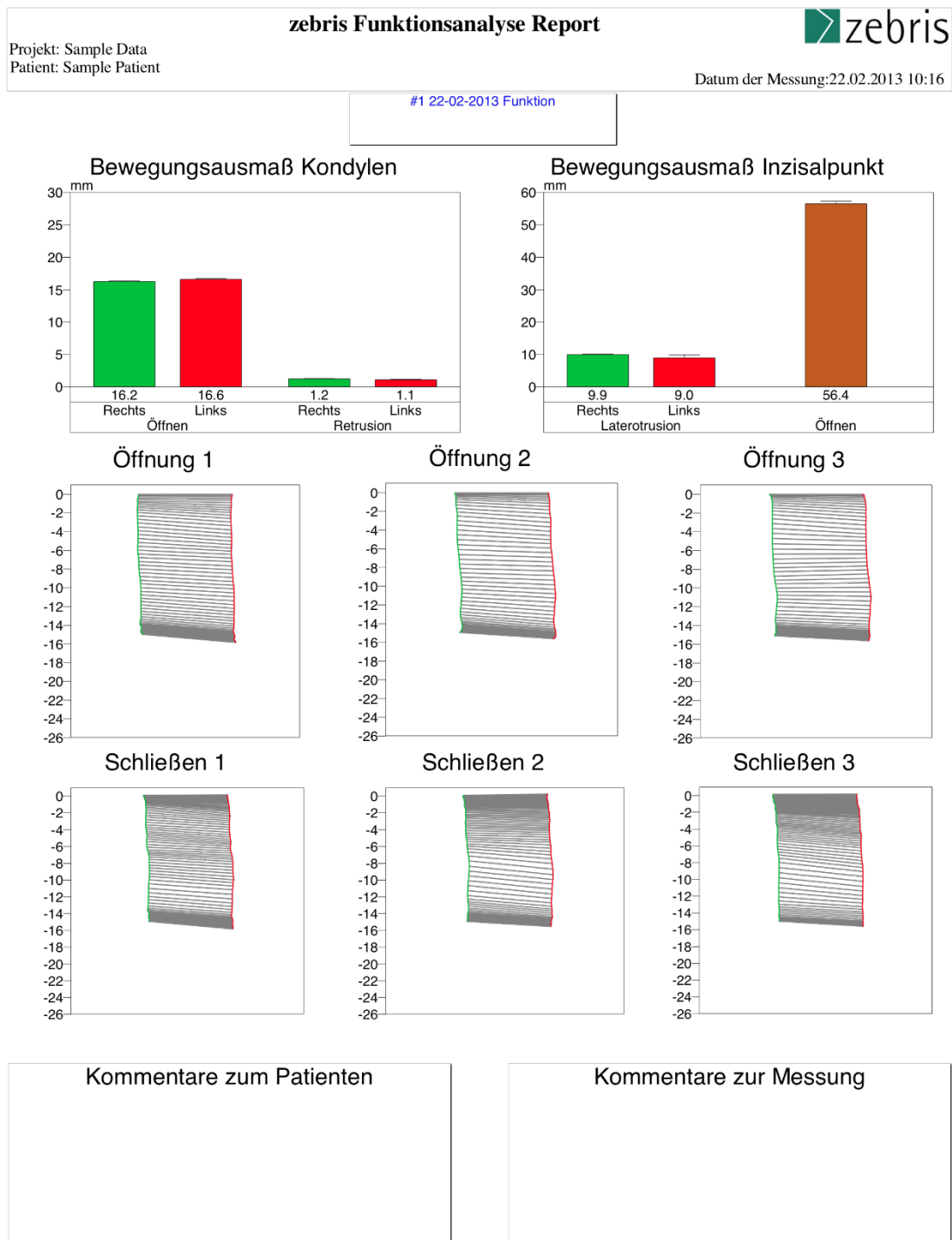
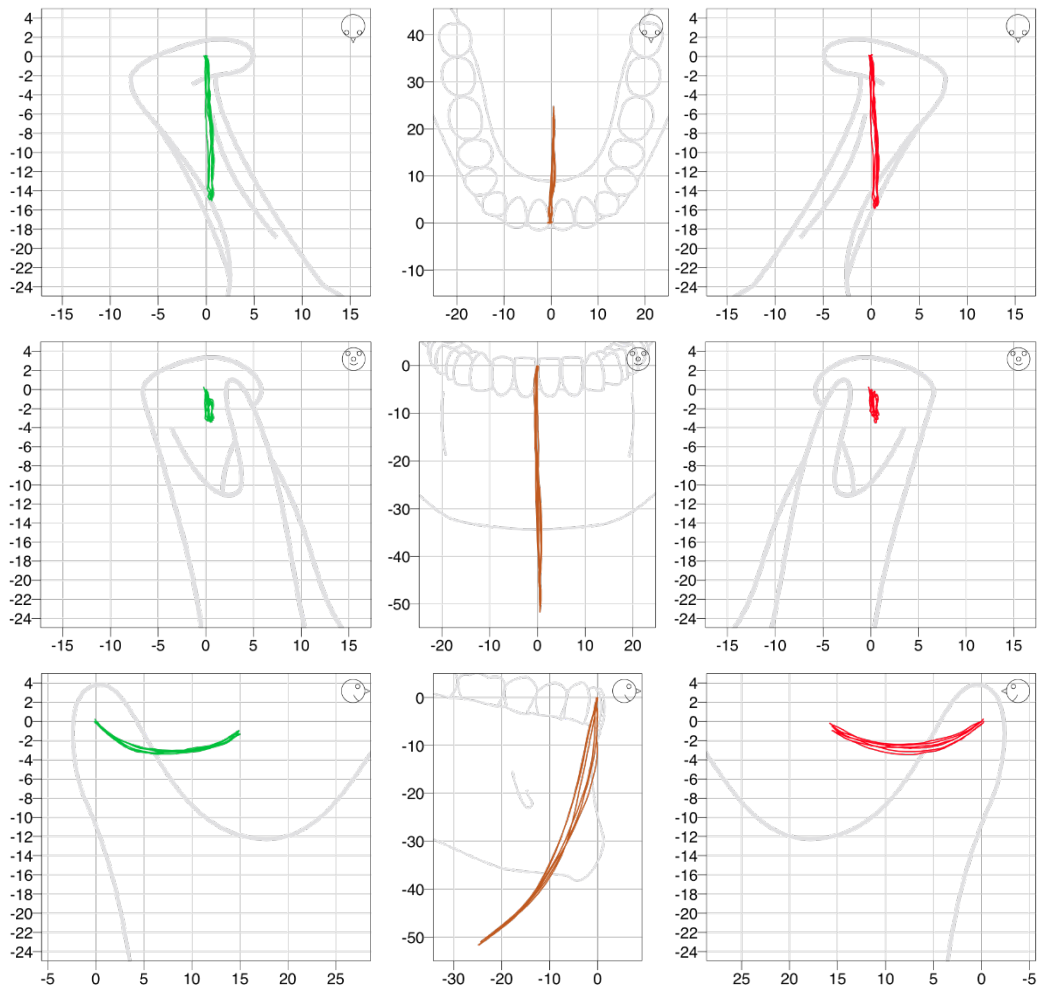


Abb. 9. Report der Funktionsanalyse Seite 1.

**Öffnen**



Translation - Rotation rechts Winkel/Geschwindigkeits Diagramm Translation - Rotation links

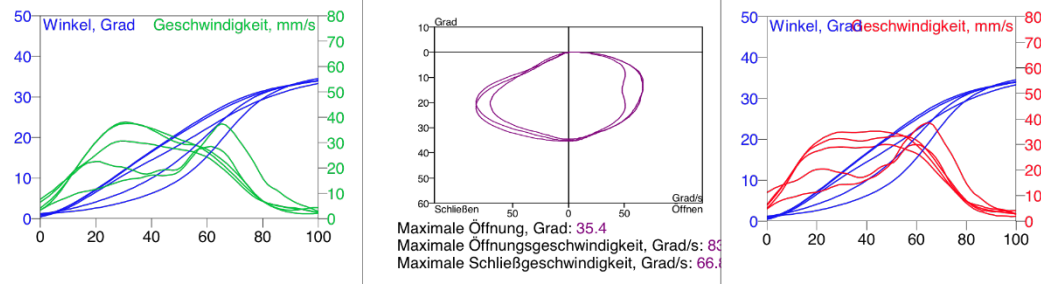


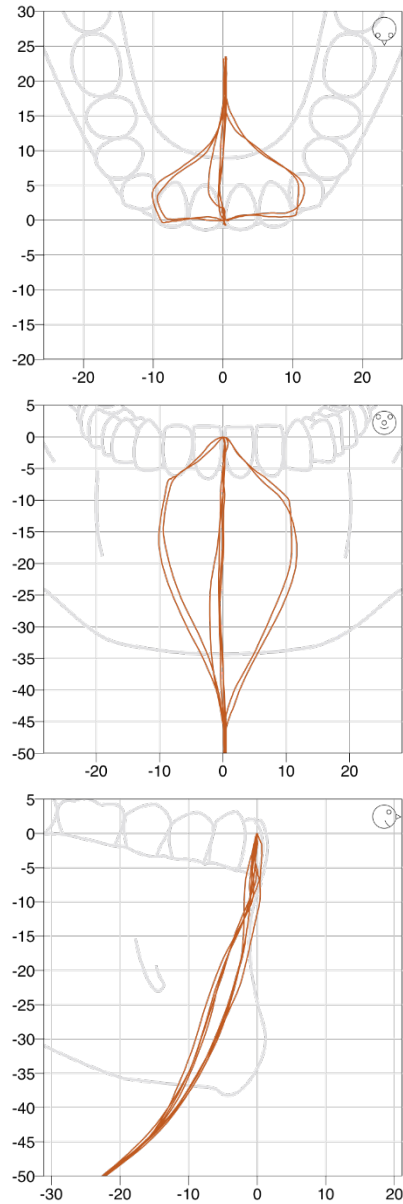
Abb. 10. Report der Funktionsanalyse Seite 2.

Figure 1 displays a 4x3 grid of plots showing the evolution of a trajectory (green, orange, or red) on a gray background shape, corresponding to different values of  $d$  (1.0 to 10.0) and HCN. The top row shows a vertical trajectory, the middle row shows a horizontal trajectory, and the bottom row shows a curved trajectory. The x and y axes are labeled from -10 to 10, -14 to 4, and -2 to 18 respectively. A small cartoon character is in the top right of each plot.

d	BEN
1.0	19.2
2.0	6.8
3.0	3.2
4.0	3.1
5.0	3.1
6.0	2.4
7.0	1.5
8.0	-
9.0	-
10.0	-

d	BEN
1.0	32.7
2.0	11.5
3.0	5.3
4.0	3.3
5.0	2.9
6.0	3.1
7.0	3.8
8.0	-
9.0	-
10.0	-

**Posselt Frontal**



**Posselt Sagittal**

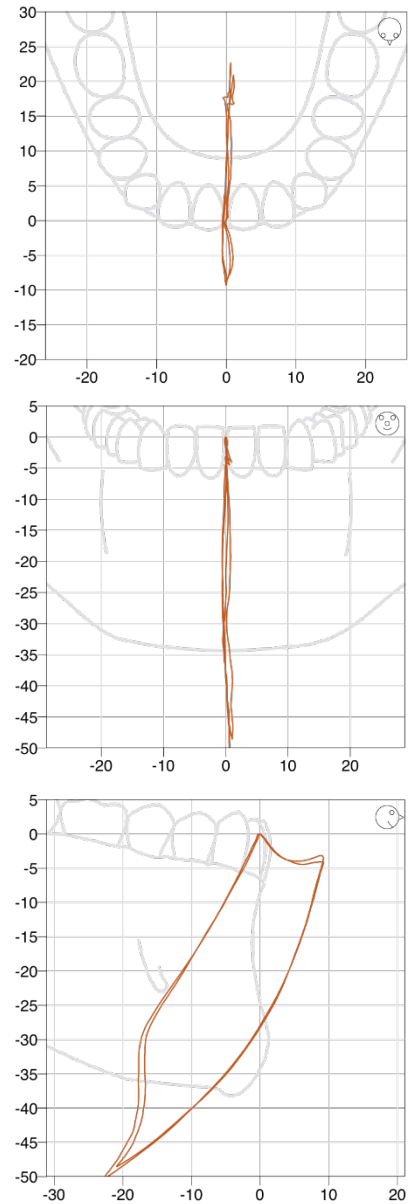


Abb. 13. Report der Funktionsanalyse Seite 5.

zusätzlich eingezeichneten blauen Linien entsprechen der Zu- bzw. Abnahme des Rotationswinkels des Unterkiefers. Die x-Achsen der Diagramme sind auf 100% des Vorschubs des linken und rechten Condylus normiert. Entsprechend nichtlineare Einbrüche der blauen Linien (Rotationswinkel) deuten darauf hin, dass eine Kieferrotation ohne entsprechende Translation der Kondylen stattgefunden hat.

Winkel/Geschwindigkeits-Diagramm:

Das abgebildete Phasendiagramm zeigt den Mundöffnungs- bzw. Kieferrotationswinkel in Abhängigkeit der Winkelgeschwindigkeit. Hierbei kann abgelesen werden, ob die Kieferbewegung störungsfrei durchgeführt wurde. Bei einer homogenen Bewegungsdurchführung zeigt das Diagramm eine weitgehend glatte und runde oder ovale Form.

*Seite 3:*

Protrusion:

Die abgebildeten Diagramme zeigen die gemittelte Protrusionsspur der Kondylen. In der linken Spalte sind die Werte für den rechten Condylus (grün) dargestellt, in der Mitte wird der Inzisalpunkt (braun) gezeigt und in der rechten Spalte wird der linke Condylus (rot) dargestellt. Die erste Zeile entspricht der Transversalebene, die zweite Zeile der Frontalebene und die dritte Zeile der Sagittalebene.

HCN (Sagittaler Gelenkbahnneigungswinkel):

In den dargestellten Abbildungen können die Winkelwerte der sagittalen Gelenkbahnneigung (HCN) bezogen auf die Achs-Orbitallinie (Frankfurter Horizontale) in Millimeterschritten nachvollzogen werden. Die dazugehörigen Diagramme auf beiden Seiten zeigen die graphische Darstellung Gelenkbahn des entsprechenden Condylus in Millimeterschritten. In der linken Spalte sind die Werte für den rechten Condylus (grün) dargestellt und in der rechten Spalte wird der linke Condylus (rot) dargestellt. Der Wert d in der Abbildung entspricht dem jeweiligen Wert auf der Y-Achse.

*Seite 4:*

Laterotrusion:

Die abgebildeten Abbildungen zeigen die Bewegungsabläufe bei der Laterotrusion zur entsprechenden Seite. In der linken Spalte sind die Werte für den rechten Condylus bei rechtslateralen Bewegungen dargestellt, in der Mitte wird der Inzisalpunkt bei rechts- und linkslateralen Bewegungen gezeigt und in der rechten Spalte wird der linke Condylus bei

linkslateralen Bewegungen dargestellt. Die erste Zeile entspricht der Transversalebene, die zweite Zeile der Frontalebene und die dritte Zeile der Sagittalebene.

BEN (Bennett-Winkel):

In den dargestellten Abbildungen können die Winkelwerte des Bennett-Winkels bezogen auf die entsprechend zurückgelegte Vorschubbewegung des schwingenden Condylus auf der Mediotrusionsseite in Millimeterschritten nachvollzogen werden. Das linke Diagramm stellt den Verlauf des rechten Condylus als schwingenden Condylus bei der Mediotrusion in grün dar. Das rechte Diagramm zeigt den Verlauf des linken Condylus als schwingenden Condylus bei der Mediotrusion in rot dar. Der Wert d in der Abbildung entspricht dem jeweiligen Wert auf der Y-Achse.

*Seite 5:*

Posselt Frontal und Posselt Sagittal:

Die Posselt Diagramme stellen die Grenzbewegungen des Inzisalpunktes bei maximaler sagittaler und frontaler Kieferbewegung unter Zahnführung dar. Der Inzisalpunkt wird dabei in der Transversal-, Frontal- und Sagittalebene dargestellt.

### **3.4. Statistische Analyse**

Die statistische Daten-Analyse wurde mit dem Programm SPSS für Windows SPSS Release 17 (SPSS inc., Chicago, IL, USA) durchgeführt. Der statistischen Daten-Analyse liegen folgende Parameter zu Grunde:

1. Öffnen des Condylus rechts in mm
2. Öffnen des Condylus links in mm
3. Retrusion des Condylus rechts in mm
4. Retrusion des Condylus links in mm
5. Rechtslateral inzisal in mm
6. Linkslateral inzisal in mm
7. Öffnen inzisal in mm
8. HCN (sagittaler Gelenkbahnneigungswinkel) nach 3 mm Protrusion rechts in Grad
9. HCN nach 3 mm Protrusion links in Grad
10. HCN nach 5 mm Protrusion rechts in Grad



11. HCN nach 5 mm Protrusion links in Grad
12. BEN (Bennett-Winkel) nach 3 mm Mediotrusion rechtes KG (Kiefergelenk) in Grad
13. BEN nach 3 mm Mediotrusion linkes KG in Grad
14. BEN nach 5 mm Mediotrusion rechtes KG in Grad
15. BEN nach 5 mm mediotrusion linkes KG in Grad

Die Untersuchungen sollten zeigen, ob und wenn wie die kinematischen Bewegungen mit den Angle-Klassifikationen korrelieren. Die Auswertung erfolgte jeweils einmal für sämtliche Patienten GR 1 und GR 2 (Kinder und Erwachsene) zusammen, weiterhin getrennt für Kinder und Erwachsene. Die Verteilung der Untersuchungsvariablen wurde deskriptiv anhand der Parameter Mittelwert, Median, Standardabweichung, Minimum und Maximum getrennt nach Angle-Klassen dargestellt. Außerdem wurden die Daten mit Hilfe von Einweg-Varianzanalysen (ANOVA) ausgewertet, wobei die Angle-Klasse als unabhängige Variable (Faktor zur Gruppenbildung) und die Untersuchungsvariablen als Abhängige eingingen. Die Signifikanzprüfung erfolgt hier über die F-Verteilung. F-Werte mit  $p < 0,05$  sind signifikant. Da die abhängigen Variablen streng genommen nicht unabhängig voneinander sind, müsste zur Interpretation das Signifikanzniveau für die Anzahl der statistischen Tests korrigiert werden. Bei 15 abhängigen Variablen müsste somit die Signifikanzschwelle nach Bonferroni auf  $0,05/15 = 0,0033$  angepasst werden (Bland and Altman, 1995). Diese konservative Korrektur kann für praktische Zwecke auf 0,005 gesetzt werden. Als signifikant wären somit nur Unterschiede zwischen den Angle-Klassen bei denjenigen Variablen zu betrachten, die  $p = 0,005$  unterschreiten.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Überblick

Die Tabellen 1-6 geben einen Überblick über die Ergebnisse der kinematischen Variablen des Unterkiefers und der Kiefergelenke in Abhängigkeit der Angle-Klasse in der Kindergruppe (GR 1) und in der Erwachsenengruppe (GR 2).

Tab. 1. Deskriptive Statistik der kinematischen Variablen des Unterkiefers und der Kiefergelenke in der Kindergruppe GR 1 in Relation zur Angle-Klasse. Modifizierte SPSS-Tabelle.

GR	ANGLE		ÖFF_C_R E	ÖFF_C_LI	RET_C_ RE	RET_C_LI	RELAT_IN	LILAT_IN	OEFF_IN
1,00	I	Mean	15,507	16,314	9,655E-02	,155	9,003	9,259	46,055
		Std. Deviation	3,710	3,732	,194	,235	1,826	1,738	6,493
		Median	15,000	16,400	,000	,000	8,800	9,300	44,700
		Minimum	6,8	7,3	,0	,0	4,9	5,7	28,0
		Maximum	23,5	24,8	,8	1,0	12,0	13,5	59,2
	II/1	Mean	15,857	16,957	,157	,300	10,157	11,357	43,729
		Std. Deviation	3,492	3,882	,230	,216	1,152	2,453	4,511
		Median	14,700	16,000	,000	,300	10,300	11,700	44,500
		Minimum	10,0	11,7	,0	,0	8,6	7,9	35,8
		Maximum	20,6	21,9	,6	,6	11,7	15,1	49,1
	II/2	Mean	17,839	18,410	,303	,274	9,968	9,797	48,142
		Std. Deviation	3,444	4,013	,654	,480	2,496	2,149	6,727
		Median	17,100	18,000	,100	,100	10,000	10,200	47,200
		Minimum	13,1	10,4	,0	,0	3,3	4,2	35,4
		Maximum	28,0	32,6	3,2	2,2	15,1	12,6	60,8
	III	Mean	15,896	16,448	,288	,320	9,752	9,432	46,612
		Std. Deviation	3,416	3,403	,467	,497	2,583	2,591	7,206
		Median	17,100	16,800	,200	,100	10,000	9,600	47,100
		Minimum	7,4	8,0	,0	,0	4,3	,4	32,0
		Maximum	21,5	21,0	2,1	2,3	13,8	13,4	59,2
	Total	Mean	16,425	17,105	,223	,251	9,620	9,647	46,733
		Std. Deviation	3,617	3,813	,471	,407	2,262	2,216	6,667
		Median	16,650	17,050	,000	,100	9,800	9,800	46,250
		Minimum	6,8	7,3	,0	,0	3,3	,4	28,0
		Maximum	28,0	32,6	3,2	2,3	15,1	15,1	60,8

GR	ANGLE		HCN_3_ RE	HCN_3_LI	HCN_5_ RE	HCN_5_LI	BEN_3_R E	BEN_3_LI	BEN_5_R E	BEN_5_LI
1,00	I	Mean	38,621	38,272	35,710	34,907	12,038	10,403	9,224	7,879
		Std. Deviation	9,128	9,255	7,816	8,674	5,881	4,900	4,583	4,092
		Median	40,000	40,100	37,600	36,850	10,700	9,100	8,100	7,300
		Minimum	17,2	17,4	14,6	12,0	1,9	1,5	1,2	1,6
		Maximum	55,4	57,6	52,1	51,5	25,2	19,0	21,4	16,9
	II/1	Mean	38,386	36,814	34,514	33,800	10,957	9,586	8,143	7,671
		Std. Deviation	10,765	11,947	9,677	10,383	6,165	5,715	3,827	4,428
		Median	39,600	38,300	34,700	33,400	9,800	10,500	7,500	6,700
		Minimum	17,7	19,4	17,9	18,8	1,7	1,3	3,7	1,8
		Maximum	48,3	51,7	46,1	48,0	17,8	18,9	15,4	15,5
	II/2	Mean	35,890	34,242	34,181	33,548	11,742	11,865	9,235	8,335
		Std. Deviation	11,871	12,796	8,474	8,959	5,939	5,833	3,154	4,161
		Median	37,600	36,300	35,400	36,100	11,300	12,100	8,800	8,400
		Minimum	-3,3	-12,2	12,2	7,0	1,3	3,1	3,7	2,2
		Maximum	52,5	53,9	49,3	49,9	26,5	25,4	15,4	18,6
	III	Mean	34,248	35,900	32,752	33,536	11,120	10,408	9,348	9,352
		Std. Deviation	8,961	9,513	7,677	7,931	5,087	5,461	4,058	4,461
		Median	34,900	38,600	32,400	33,200	11,200	9,900	9,800	9,100
		Minimum	18,0	15,3	18,9	15,6	1,0	2,6	2,5	3,1
		Maximum	51,1	51,8	47,5	49,0	19,9	25,8	17,3	20,7
	Total	Mean	36,495	36,159	34,300	33,982	11,607	10,835	9,179	8,417
		Std. Deviation	10,205	10,786	8,093	8,583	5,636	5,405	3,891	4,216
		Median	37,750	38,650	34,700	35,400	11,150	10,050	8,800	7,650
		Minimum	-3,3	-12,2	12,2	7,0	1,0	1,3	1,2	1,6
		Maximum	55,4	57,6	52,1	51,5	26,5	25,8	21,4	20,7

Tab. 2. ANOVA Tabelle der Analyse der kinematischen Variablen des Unterkiefers und der Kiefergelenke in der Kindergruppe GR 1 in Relation zur Angle-Klasse. Modifizierte SPSS-Tabelle. Signifikanz bei  $p < 0,05$ , nach Bonferroni-Korrektur bei  $p = 0,005$ .

ANOVA Table

GR				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1,00	OFF_C_RE * ANGLE	Between Groups	(Combined)	95,654	3	31,885	2,563	,060
		Within Groups		1094,559	88	12,438		
		Total		1190,213	91			
	ÖFF_C_LI * ANGLE	Between Groups	(Combined)	81,866	3	27,289	1,934	,130
		Within Groups		1241,401	88	14,107		
		Total		1323,267	91			
	RET_C_RE * ANGLE	Between Groups	(Combined)	,799	3	,266	1,207	,312
		Within Groups		19,423	88	,221		
		Total		20,222	91			
	RET_C_LI * ANGLE	Between Groups	(Combined)	,419	3	,140	,839	,476
		Within Groups		14,651	88	,166		
		Total		15,070	91			
	RELAT_IN * ANGLE	Between Groups	(Combined)	17,228	3	5,743	1,127	,343
		Within Groups		448,377	88	5,095		
		Total		465,605	91			
	LILAT_IN * ANGLE	Between Groups	(Combined)	26,697	3	8,899	1,863	,142
		Within Groups		420,352	88	4,777		
		Total		447,049	91			
	OEFF_IN * ANGLE	Between Groups	(Combined)	138,414	3	46,138	1,039	,379
		Within Groups		3906,008	88	44,386		
		Total		4044,422	91			
	HCN_3_RE * ANGLE	Between Groups	(Combined)	293,622	3	97,874	,938	,426
		Within Groups		9183,246	88	104,355		
		Total		9476,867	91			
	HCN_3_LI * ANGLE	Between Groups	(Combined)	248,141	3	82,714	,704	,552
		Within Groups		10338,582	88	117,484		
		Total		10586,723	91			
	HCN_5_RE * ANGLE	Between Groups	(Combined)	118,354	3	39,451	,594	,620
		Within Groups		5841,106	88	66,376		
		Total		5959,460	91			
	HCN_5_LI * ANGLE	Between Groups	(Combined)	34,998	3	11,666	,154	,927
		Within Groups		6595,854	87	75,814		
		Total		6630,852	90			
	BEN_3_RE * ANGLE	Between Groups	(Combined)	14,835	3	4,945	,151	,929
		Within Groups		2875,341	88	32,674		
		Total		2890,176	91			
	BEN_3_LI * ANGLE	Between Groups	(Combined)	53,741	3	17,914	,605	,613
		Within Groups		2604,768	88	29,600		
		Total		2658,509	91			
	BEN_5_RE * ANGLE	Between Groups	(Combined)	8,387	3	2,796	,180	,910
		Within Groups		1369,444	88	15,562		
		Total		1377,831	91			
	BEN_5_LI * ANGLE	Between Groups	(Combined)	34,337	3	11,446	,636	,594
		Within Groups		1583,335	88	17,992		
		Total		1617,672	91			

Tab. 3. Deskriptive Statistik der kinematischen Variablen des Unterkiefers und der Kiefergelenke in der Erwachsenengruppe GR 2 in Relation zur Angle-Klasse. Modifizierte SPSS-Tabelle.

GR	ANGLE		ÖFF_C_R E	ÖFF_C_LI	RET_C_ RE	RET_C_LI	RELAT_IN	LILAT_IN	OEFF_IN
2,00	I	Mean	17,056	18,506	,167	,111	8,028	8,739	53,233
		Std. Deviation	2,545	4,402	,191	,153	2,184	1,882	4,168
		Median	17,850	19,600	,100	,100	7,700	8,200	53,650
		Minimum	13,0	10,9	,0	,0	3,2	6,3	43,1
		Maximum	20,6	26,7	,6	,5	13,7	12,7	60,2
	II/2	Mean	16,033	18,317	8,333E-02	,108	10,425	10,383	49,792
		Std. Deviation	6,706	6,329	,103	,108	1,969	2,669	9,315
		Median	16,450	19,700	5,000E-02	,100	10,050	10,050	48,000
		Minimum	4,9	7,0	,0	,0	8,3	7,3	37,9
		Maximum	26,2	26,8	,3	,3	13,9	14,1	64,6
	III	Mean	20,110	19,640	,320	,280	8,720	8,270	58,550
		Std. Deviation	2,916	3,576	,630	,388	2,475	3,109	4,394
		Median	21,050	20,800	,000	5,000E-02	8,650	7,800	57,250
		Minimum	15,7	12,8	,0	,0	5,1	3,6	53,3
		Maximum	23,3	22,5	1,7	1,0	13,1	13,0	66,8
	Total	Mean	17,512	18,732	,180	,153	8,920	9,115	53,530
		Std. Deviation	4,468	4,794	,344	,232	2,379	2,555	6,878
		Median	18,150	20,000	,100	,100	8,500	8,150	54,400
		Minimum	4,9	7,0	,0	,0	3,2	3,6	37,9
		Maximum	26,2	26,8	1,7	1,0	13,9	14,1	66,8

GR	ANGLE		HCN_3_ RE	HCN_3_LI	HCN_5_ RE	HCN_5_LI	BEN_3_R E	BEN_3_LI	BEN_5_R E	BEN_5_LI
2,00	I	Mean	47,206	49,829	45,183	47,350	17,072	16,956	15,100	14,622
		Std. Deviation	10,228	7,386	8,845	6,811	8,919	7,273	7,875	7,425
		Median	46,100	50,100	43,300	47,750	15,550	15,250	12,950	12,800
		Minimum	31,5	35,4	30,4	33,1	6,3	7,9	7,5	7,2
		Maximum	65,1	62,1	61,3	59,3	38,5	33,3	36,4	35,9
	II/2	Mean	44,233	42,217	41,083	39,775	14,658	13,142	11,408	10,967
		Std. Deviation	12,457	13,115	11,794	11,978	6,850	6,196	4,969	5,474
		Median	46,800	44,800	44,850	42,250	12,850	13,450	11,450	11,900
		Minimum	22,2	18,5	20,4	19,9	3,6	3,4	2,5	2,9
		Maximum	58,4	61,6	55,2	57,0	29,8	24,5	20,1	20,2
	III	Mean	45,400	47,410	42,510	45,170	14,250	14,260	11,830	12,130
		Std. Deviation	14,147	12,020	11,983	11,274	2,880	3,202	1,725	2,601
		Median	46,650	49,450	44,050	45,500	14,450	14,750	11,600	12,200
		Minimum	21,7	27,8	20,9	25,3	9,3	7,4	8,4	7,2
		Maximum	64,0	64,6	55,5	59,7	18,4	18,2	14,0	15,8
	Total	Mean	45,863	46,867	43,285	44,532	15,643	15,138	13,175	12,903
		Std. Deviation	11,716	10,854	10,478	10,037	7,181	6,261	6,150	6,059
		Median	46,100	48,500	43,300	45,500	14,450	14,450	11,800	12,500
		Minimum	21,7	18,5	20,4	19,9	3,6	3,4	2,5	2,9
		Maximum	65,1	64,6	61,3	59,7	38,5	33,3	36,4	35,9

Tab. 4. ANOVA Tabelle der Analyse der kinematischen Variablen des Unterkiefers und der Kiefergelenke in der Erwachsenenengruppe GR 2 in Relation zur Angle-Klasse. Modifizierte SPSS-Tabelle. Signifikanz bei  $p < 0,05$ , nach Bonferroni-Korrektur bei  $p = 0,005$ .

ANOVA Table

GR				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
2,00	OFF_C_RE * ANGLE	Between Groups	(Combined)	97,484	2	48,742	2,647	,084
		Within Groups		681,240	37	18,412		
		Total		778,724	39			
	ÖFF_C_LI * ANGLE	Between Groups	(Combined)	11,238	2	5,619	,235	,792
		Within Groups		885,190	37	23,924		
		Total		896,428	39			
	RET_C_RE * ANGLE	Between Groups	(Combined)	,311	2	,156	1,336	,275
		Within Groups		4,313	37	,117		
		Total		4,624	39			
	RET_C_LI * ANGLE	Between Groups	(Combined)	,217	2	,108	2,130	,133
		Within Groups		1,883	37	,051		
		Total		2,100	39			
	RELAT_IN * ANGLE	Between Groups	(Combined)	41,909	2	20,955	4,335	,020
		Within Groups		178,855	37	4,834		
		Total		220,764	39			
	LILAT_IN * ANGLE	Between Groups	(Combined)	28,991	2	14,495	2,377	,107
		Within Groups		225,620	37	6,098		
		Total		254,611	39			
	OEFF_IN * ANGLE	Between Groups	(Combined)	421,290	2	210,645	5,475	,008
		Within Groups		1423,514	37	38,473		
		Total		1844,804	39			
	HCN_3_RE * ANGLE	Between Groups	(Combined)	66,458	2	33,229	,233	,794
		Within Groups		5286,496	37	142,878		
		Total		5352,954	39			
	HCN_3_LI * ANGLE	Between Groups	(Combined)	411,646	2	205,823	1,823	,176
		Within Groups		4064,981	36	112,916		
		Total		4476,627	38			
	HCN_5_RE * ANGLE	Between Groups	(Combined)	129,040	2	64,520	,575	,568
		Within Groups		4152,431	37	112,228		
		Total		4281,471	39			
	HCN_5_LI * ANGLE	Between Groups	(Combined)	418,559	2	209,280	2,206	,124
		Within Groups		3510,689	37	94,883		
		Total		3929,248	39			
	BEN_3_RE * ANGLE	Between Groups	(Combined)	67,807	2	33,904	,646	,530
		Within Groups		1943,050	37	52,515		
		Total		2010,858	39			
	BEN_3_LI * ANGLE	Between Groups	(Combined)	114,996	2	57,498	1,505	,235
		Within Groups		1413,798	37	38,211		
		Total		1528,794	39			
	BEN_5_RE * ANGLE	Between Groups	(Combined)	122,245	2	61,122	1,672	,202
		Within Groups		1352,690	37	36,559		
		Total		1474,935	39			
	BEN_5_LI * ANGLE	Between Groups	(Combined)	104,171	2	52,085	1,451	,247
		Within Groups		1327,759	37	35,885		
		Total		1431,930	39			

Tab. 5. Deskriptive Statistik der kinematischen Variablen des Unterkiefers und der Kiefergelenke der Kindergruppe GR 1 und der Erwachsenengruppe GR 2 in Abhängigkeit der Angle-Klasse. Modifizierte SPSS Tabelle.

ANGLE		ÖFF_C_R_E	ÖFF_C_LI	RET_C_RE	RET_C_LI	RELAT_IN	LILAT_IN	OEFF_IN
I	Mean	16,100	17,153	,123	,138	8,630	9,060	48,804
	Std. Deviation	3,369	4,098	,194	,207	2,005	1,793	6,672
	Median	16,000	16,900	,000	,100	8,600	9,200	49,100
	Minimum	6,8	7,3	,0	,0	3,2	5,7	28,0
	Maximum	23,5	26,7	,8	1,0	13,7	13,5	60,2
II/1	Mean	15,857	16,957	,157	,300	10,157	11,357	43,729
	Std. Deviation	3,492	3,882	,230	,216	1,152	2,453	4,511
	Median	14,700	16,000	,000	,300	10,300	11,700	44,500
	Minimum	10,0	11,7	,0	,0	8,6	7,9	35,8
	Maximum	20,6	21,9	,6	,6	11,7	15,1	49,1
II/2	Mean	17,335	18,384	,242	,228	10,095	9,960	48,602
	Std. Deviation	4,574	4,690	,564	,416	2,347	2,288	7,457
	Median	17,100	18,200	,100	,100	10,000	10,200	47,200
	Minimum	4,9	7,0	,0	,0	3,3	4,2	35,4
	Maximum	28,0	32,6	3,2	2,2	15,1	14,1	64,6
III	Mean	17,100	17,360	,297	,309	9,457	9,100	50,023
	Std. Deviation	3,770	3,701	,509	,463	2,560	2,754	8,468
	Median	17,400	18,000	,000	,100	9,100	9,400	50,400
	Minimum	7,4	8,0	,0	,0	4,3	,4	32,0
	Maximum	23,3	22,5	2,1	2,3	13,8	13,4	66,8
Total	Mean	16,755	17,598	,210	,221	9,408	9,486	48,792
	Std. Deviation	3,909	4,184	,436	,365	2,312	2,327	7,402
	Median	17,100	17,650	,000	,100	9,400	9,650	48,650
	Minimum	4,9	7,0	,0	,0	3,2	,4	28,0
	Maximum	28,0	32,6	3,2	2,3	15,1	15,1	66,8

ANGLE		HCN_3_RE	HCN_3_LI	HCN_5_RE	HCN_5_LI	BEN_3_R_E	BEN_3_LI	BEN_5_R_E	BEN_5_LI
I	Mean	41,909	42,543	39,338	39,776	13,966	12,913	11,474	10,462
	Std. Deviation	10,352	10,222	9,368	10,018	7,521	6,673	6,636	6,445
	Median	42,900	42,200	39,800	39,000	12,800	12,600	10,400	9,200
	Minimum	17,2	17,4	14,6	12,0	1,9	1,5	1,2	1,6
	Maximum	65,1	62,1	61,3	59,3	38,5	33,3	36,4	35,9
II/1	Mean	38,386	36,814	34,514	33,800	10,957	9,586	8,143	7,671
	Std. Deviation	10,765	11,947	9,677	10,383	6,165	5,715	3,827	4,428
	Median	39,600	38,300	34,700	33,400	9,800	10,500	7,500	6,700
	Minimum	17,7	19,4	17,9	18,8	1,7	1,3	3,7	1,8
	Maximum	48,3	51,7	46,1	48,0	17,8	18,9	15,4	15,5
II/2	Mean	38,219	36,467	36,107	35,286	12,556	12,221	9,842	9,070
	Std. Deviation	12,476	13,233	9,876	10,144	6,264	5,890	3,814	4,652
	Median	38,400	38,900	35,800	36,400	12,000	12,300	9,800	9,200
	Minimum	-3,3	-12,2	12,2	7,0	1,3	3,1	2,5	2,2
	Maximum	58,4	61,6	55,2	57,0	29,8	25,4	20,1	20,2
III	Mean	37,434	39,189	35,540	36,860	12,014	11,509	10,057	10,146
	Std. Deviation	11,653	11,400	9,981	10,319	4,745	5,185	3,702	4,178
	Median	36,800	39,800	34,500	36,400	12,400	11,900	10,300	10,700
	Minimum	18,0	15,3	18,9	15,6	1,0	2,6	2,5	3,1
	Maximum	64,0	64,6	55,5	59,7	19,9	25,8	17,3	20,7
Total	Mean	39,333	39,347	37,023	37,204	12,830	12,139	10,390	9,777
	Std. Deviation	11,484	11,833	9,765	10,248	6,394	5,992	5,017	5,250
	Median	39,800	40,800	38,250	37,400	12,300	12,100	9,900	9,600
	Minimum	-3,3	-12,2	12,2	7,0	1,0	1,3	1,2	1,6
	Maximum	65,1	64,6	61,3	59,7	38,5	33,3	36,4	35,9

Tab. 6. ANOVA Tabelle der Analyse der kinematischen Variablen des Unterkiefers und der Kiefergelenke in der Kindergruppe GR 1 und der Erwachsenengruppe GR 2 in Relation zur Angle-Klasse. Modifizierte SPSS-Tabelle. Signifikanz bei  $p < 0,05$ , nach Bonferroni-Korrektur bei  $p = 0,005$ .

**ANOVA Table**

			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
OFF_C_RE * ANGLE	Between Groups (Combined)		44,432	3	14,811	,968	,410
	Within Groups		1957,475	128	15,293		
	Total		2001,907	131			
OFF_C_LI * ANGLE	Between Groups (Combined)		40,703	3	13,568	,771	,512
	Within Groups		2252,797	128	17,600		
	Total		2293,500	131			
RET_C_RE * ANGLE	Between Groups (Combined)		,681	3	,227	1,201	,312
	Within Groups		24,216	128	,189		
	Total		24,897	131			
RET_C_LI * ANGLE	Between Groups (Combined)		,636	3	,212	1,614	,189
	Within Groups		16,805	128	,131		
	Total		17,441	131			
RELAT_IN * ANGLE	Between Groups (Combined)		52,792	3	17,597	3,480	,018
	Within Groups		647,220	128	5,056		
	Total		700,012	131			
LILAT_IN * ANGLE	Between Groups (Combined)		47,950	3	15,983	3,092	,029
	Within Groups		661,593	128	5,169		
	Total		709,543	131			
OEFF_IN * ANGLE	Between Groups (Combined)		234,048	3	78,016	1,438	,235
	Within Groups		6943,305	128	54,245		
	Total		7177,352	131			
HCN_3_RE * ANGLE	Between Groups (Combined)		497,624	3	165,875	1,265	,289
	Within Groups		16778,789	128	131,084		
	Total		17276,413	131			
HCN_3_LI * ANGLE	Between Groups (Combined)		872,334	3	290,778	2,131	,100
	Within Groups		17331,491	127	136,468		
	Total		18203,826	130			
HCN_5_RE * ANGLE	Between Groups (Combined)		409,060	3	136,353	1,445	,233
	Within Groups		12082,532	128	94,395		
	Total		12491,592	131			
HCN_5_LI * ANGLE	Between Groups (Combined)		547,749	3	182,583	1,769	,156
	Within Groups		13105,079	127	103,190		
	Total		13652,828	130			
BEN_3_RE * ANGLE	Between Groups (Combined)		111,723	3	37,241	,909	,439
	Within Groups		5243,432	128	40,964		
	Total		5355,155	131			
BEN_3_LI * ANGLE	Between Groups (Combined)		87,973	3	29,324	,813	,489
	Within Groups		4615,460	128	36,058		
	Total		4703,433	131			
BEN_5_RE * ANGLE	Between Groups (Combined)		107,420	3	35,807	1,437	,235
	Within Groups		3190,437	128	24,925		
	Total		3297,857	131			
BEN_5_LI * ANGLE	Between Groups (Combined)		79,334	3	26,445	,959	,415
	Within Groups		3531,083	128	27,587		
	Total		3610,417	131			

## 4.2. Öffnen (Kondylenbahnlänge)

### 4.2.1. Öffnen rechter Condylus (Tab. 7.)

Die mittlere Kondylenbahnlänge des rechten Condylus beläuft sich auf 15,5 mm (Klasse I), 15,9 mm (Klasse II/1, III) und 17,8 mm (Klasse II/2) in der Kindergruppe (GR 1) mit einer Standardabweichung zwischen 3,4 mm (Klasse II/2, III) und 3,7 mm (Klasse I). Die kürzeste registrierte Bewegungsspur liegt bei 6,8 mm (Klasse I) und die längste bei 28,0 mm (Klasse II/2). In der Erwachsenengruppe (GR 2) variieren die mittleren Messwerte der rechten Kondylenspur zwischen 16,0 mm (Klasse II/2), 17,1 mm (Klasse I) und 20,1 mm (Klasse III) mit einer Standardabweichung zwischen 2,5 mm (Klasse I) und 6,7 mm (Klasse II/2). Die kürzeste registrierte Spur ist 4,9 mm (Klasse II/2) und die längste 26,2 mm (Klasse II/2). Der Vergleich der mittleren Kondylenbahnlänge aller Klassen (Klasse I-III) in der Kindergruppe (GR 1) von 16,4 mm des rechten Condylus mit der mittleren Kondylenbahnlänge aller Klassen (Klasse I-III) der Erwachsenengruppe (GR 2) von 17,5 mm des rechten Condylus ergibt, dass die Kondylenbahnlänge der Kindergruppe zu 93,7% der Erwachsenengruppe äquivalent ist. Beim Vergleich der verschiedenen Angle-Klassen zwischen Kinder- und Erwachsenengruppe gibt es folgende Ergebnisse: Klasse I mit 90,6%, Klasse II/2 mit 111,3% und Klasse III mit 79,1%. Innerhalb der Kindergruppe und innerhalb der Erwachsenengruppe zeigen sich bei der Kondylenbahnlänge des rechten Condylus keine signifikanten Unterschiede zwischen den Angle-Klassen. Auch bei Betrachtung beider Gruppen gemeinsam zeigen sich keine signifikanten Unterschiede.

Tab. 7. Messwerte Öffnen Condylus rechts.

ÖFF_C_RE											
Angle-Klasse	n		Mean (mm)		S.D. (mm)		Minimum (mm)		Maximum (mm)		ANOVA p-value
	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	
I	29	9	15,5	17,1	3,7	2,5	6,8	13,0	23,5	20,6	0,05
II/1	7	0	15,9		3,5		10,0		20,6		
II/2	31	6	17,8	16,0	3,4	6,7	13,1	4,9	28,0	26,2	
III	25	5	15,9	20,1	3,4	2,9	7,4	15,7	21,5	23,3	
Total	92	20	16,4	17,5	3,6	4,5	6,8	4,9	28,0	26,2	



#### 4.2.2. Öffnen linker Condylus (Tab. 8.)

Die mittleren Messwerte des linken Condylus bei maximaler Mundöffnung sind sowohl in der Kindergruppe (GR 1), als auch in der Erwachsenengruppe (GR 2) etwas größer als die des rechten Condylus. Die mittleren Messwerte der Kindergruppe (GR 1) liegen zwischen 16,3 mm (Klasse I), 16,4 mm (Klasse III), 17,0 mm (Klasse II/1) und 18,4 mm (Klasse II/2) mit einer Standardabweichung von 3,4 mm (Klasse III) und 4,0 mm (Klasse II/2). Die kürzeste registrierte Spur liegt bei 7,3 mm (Klasse I) und die längste bei 32,6 mm (Klasse II/2). In der Erwachsenengruppe (GR 2) variieren die mittleren Messwerte des linken Condylus zwischen 18,3 mm (Klasse II/2), 18,5 mm (Klasse I) und 19,6 mm (Klasse III) mit einer Standardabweichung zwischen 3,6 mm (Klasse III) und 6,3 mm (Klasse II/2). Die kürzeste registrierte Spur liegt bei 7,0 mm (Klasse II/2) und die längste bei 26,8 mm (Klasse II/2). Im Vergleich des mittleren Messwertes der Kondylenbahnlänge des linken Condylus aller Angle-Klassen der Kindergruppe (GR 1) von 17,1 mm mit dem mittleren Messwert der Kondylenbahnlänge des linken Condylus aller Angle-Klassen der Erwachsenengruppe (GR 2) von 18,7 mm ist die Kondylenbahnlänge der Kindergruppe äquivalent zu 91,4% der Erwachsenengruppe. In Relation der verschiedenen Angle-Klassen ergeben sich folgende Werte: Klasse I mit 88,1%, Klasse II/2 mit 100,5% und Klasse III mit 83,7%. Innerhalb der Kindergruppe und innerhalb der Erwachsenengruppe zeigen sich bei Betrachtung der Kondylenbahnlänge des linken Condylus keine signifikanten Unterschiede zwischen den Angle-Klassen. Auch bei Betrachtung beider Gruppen gemeinsam zeigen sich keine signifikanten Unterschiede.

Tab. 8. Messwerte Öffnen Condylus links.

ÖFF_C_LI											
Angle-Klasse	n		Mean (mm)		S.D. (mm)		Minimum (mm)		Maximum (mm)		ANOVA p-value
	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	
I	29	9	15,5	18,5	3,7	4,4	6,8	10,9	23,5	26,7	0,05
II/1	7	0	15,9		3,5		10,0		20,6		
II/2	31	6	17,8	18,3	3,4	6,3	13,1	7,0	28,0	26,8	
III	25	5	15,9	19,6	3,4	3,6	7,4	12,8	21,5	22,5	
Total	92	20	16,4	18,7	3,6	4,8	6,8	7,0	28,0	26,8	

### 4.3. Retrusion

#### 4.3.1. Retrusion rechter Condylus (Tab. 9.)

In der Kindergruppe betragen die durchschnittlichen Messwerte für die Retrusion des rechten Condylus 0,10 mm (Klasse I), 0,16 mm (Klasse II/1), 0,29 mm (Klasse III) und 0,30 mm (Klasse II/2) mit einer Standardabweichung von 0,19 mm (Klasse I), 0,23 mm (Klasse II/1), 0,47 mm (Klasse III) und 0,65 mm (Klasse II/2). Bei Betrachtung der kürzesten gemessenen Rückwärtsbewegung ist in allen Angle-Klassen keine Retrusion vorhanden. Die längste gemessene Retrusion beträgt 3,2 mm (Klasse II/2). In der Erwachsenengruppe variieren die mittleren Messwerte zwischen 0,08 mm (Klasse II/2), 0,17 mm (Klasse I) und 0,32 mm (Klasse III) mit einer Standardabweichung zwischen 0,10 mm (Klasse II/2), 0,19 mm (Klasse I) und 0,63 mm (Klasse III). Auch in dieser Gruppe ist in allen Klassen die Retrusion der Kondylen bei einigen Untersuchten nicht möglich. Die längste registrierte Retrusion beträgt 1,7 mm (Klasse III). Im Vergleich der mittleren Messwerte der Retrusion des rechten Condylus aller Angle-Klassen der Kindergruppe (0,22 mm), mit den mittleren Messwerten der Erwachsenen (0,18 mm), sind die Werte der Kindergruppe äquivalent zu 122,2% zu denen der Erwachsenen. Bei Betrachtung der Angle-Klassen zeigen sich folgende Ergebnisse: In Klasse I korrespondieren die Kinder zu 58,8% zu der Erwachsenengruppe mit Klasse I. Klasse II/2 zeigt 375,0% und die Kinder aus Klasse III zeigen 90,6% der Retrusion in Relation zur entsprechenden Erwachsenengruppe. Innerhalb der Kindergruppe und innerhalb der Erwachsenengruppe zeigen sich bei Betrachtung der Retrusion des rechten Condylus keine signifikanten Unterschiede zwischen den Angle-Klassen. Auch bei Betrachtung beider Gruppen gemeinsam zeigen sich keine signifikanten Unterschiede.

Tab. 9. Messwerte Retrusion Condylus rechts.

RET_C_RE											
Angle-Klasse	n		Mean (mm)		S.D. (mm)		Minimum (mm)		Maximum (mm)		ANOVA p-value
	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	
I	29	9	0,10	0,17	0,19	0,19	0,00	0,00	0,80	0,60	0,05
II/1	7	0	0,16		0,23		0,00		0,60		
II/2	31	6	0,30	0,08	0,65	0,10	0,00	0,00	3,20	0,30	
III	25	5	0,29	0,32	0,47	0,63	0,00	0,00	2,10	1,70	
Total	92	20	0,22	0,18	0,47	0,34	0,00	0,00	3,20	1,70	

#### 4.3.2. Retrusion linker Condylus (Tab. 10.)

Die mittleren Messwerte für Retrusion des linken Condylus liegen in der Kindergruppe bei 0,16 mm (Klasse I), 0,27 mm (Klasse II/2), 0,30 mm (Klasse II/1) und bei 0,32 mm (Klasse III), mit einer Standardabweichung von 0,22 mm (Klasse II/1), 0,24 mm (Klasse I), 0,48 mm (Klasse II/2) und 0,50 mm (Klasse III). In allen Klassen kommt es bei einigen Probanden vor, dass keine Retrusion möglich ist. Die längste gemessene Retrusion ist 2,3 mm (Klasse III). In der Erwachsenengruppe gibt es folgende mittlere Messwerte für die Retrusion des linken Condylus: 0,11 mm (Klasse I, II/2) und 0,28 mm (Klasse III). Die Standardabweichung liegt bei 0,11 mm (Klasse II/2), 0,5 mm (Klasse I) und 0,39 mm (Klasse III). In allen Klassen ist einigen Probanden keine Retrusion möglich. Die längste gemessene Spur liegt bei 1,00 mm (Klasse III). Im Vergleich der mittleren Messwerte der Kindergruppe (0,25 mm) mit denen der Erwachsenengruppe (0,15 mm) ist der gemessene Wert der Kindergruppe äquivalent zu 166,7% zu dem der Erwachsenengruppe. In Relation der einzelnen Angle-Klassen zeigen sich folgende Ergebnisse: In Klasse I korrelieren die Kinder mit 145,5% der Erwachsenengruppe, Klasse II/2 zu 245,5% und Klasse III zu 114,3%. Innerhalb der Kindergruppe und innerhalb der Erwachsenengruppe zeigen sich bei Betrachtung der Retrusion des linken Condylus keine signifikanten Unterschiede zwischen den Angle-Klassen. Auch bei Betrachtung beider Gruppen gemeinsam fanden wir keine signifikanten Unterschiede.

Tab. 10. Messwerte Retrusion Condylus links.

<b>RET_C_LI</b>											
Angle-Klasse	n		Mean (mm)		S.D. (mm)		Minimum (mm)		Maximum (mm)		ANOVA p-value
	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	
I	29	9	0,16	0,11	0,24	0,15	0,00	0,00	1,00	0,50	0,05
II/1	7	0	0,30		0,22		0,00		0,60		
II/2	31	6	0,27	0,11	0,48	0,11	0,00	0,00	2,20	0,30	
III	25	5	0,32	0,28	0,50	0,39	0,00	0,00	2,30	1,00	
Total	92	20	0,25	0,15	0,40	0,23	0,00	0,00	2,30	1,00	

#### 4.4. Laterotrusion

##### 4.4.1. Laterotrusion nach rechts (Tab. 11.)

Die mittleren Messwerte der Laterotrusion nach rechts in der Kindergruppe variieren zwischen 9,0 mm (Klasse I), 9,8 mm (Klasse III), 10,0 mm (Klasse II/2) und 10,2 mm (Klasse II/1) mit einer Standardabweichung zwischen 1,2 mm (Klasse II/1), 1,8 mm (Klasse I), 2,5 mm (Klasse II/2) und 2,6 mm (Klasse III). Die kürzeste Laterotrusion nach rechts liegt bei 3,3 mm (Klasse II/2) und die längste bei 15,1 mm, ebenfalls in Klasse II/2. In der Erwachsenengruppe liegt der mittlere Messwert für Laterotrusion rechts zwischen 8,00 mm (Klasse I), 8,7 mm (Klasse III) und 10,4 mm (Klasse II/2) mit einer Standardabweichung von 2,0 mm (Klasse II/2), 2,2 mm (Klasse I) und 2,5 mm (Klasse III). Die kürzeste Laterotrusion der rechten Seite liegt bei 3,2 mm in Klasse I und die längste bei 13,9 mm (Klasse II/2). Der Vergleich des mittleren Messwertes aller Angle-Klassen in der Kindergruppe (9,6 mm) mit dem der Erwachsenengruppe (8,9 mm), zeigt, dass die Kindergruppe äquivalent ist zu 107,9% der Erwachsenengruppe. In Relation der einzelnen Angle-Klassen zeigen sich folgende Ergebnisse: 112,5 % (Klasse I), 96,2%(Klasse II/2) und 112,6% (Klasse III). ANOVA zeigt signifikante Unterschiede bei der Laterotrusion rechts innerhalb der Erwachsenengruppe (Klasse I-III) ( $p < 0,05$ ) und ebenfalls bei Betrachtung aller Patienten. Nach der Bonferroni-Korrektur haben wir keine signifikanten Unterschiede mehr. Wir fanden keine signifikanten Unterschiede innerhalb der Kindergruppe.

Tab.11. Messwerte Laterotrusion rechts inzisal.

<b>RELAT_IN</b>										
Angle-Klasse	n		Mean (mm)		S.D. (mm)		Minimum (mm)		Maximum (mm)	ANOVA p-value
	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	G2	GR1	GR2
I	29	9	9,0	8,0	1,8	2,2	4,9	3,2	12,0	13,7
II/1	7	0	10,2		1,2		8,6		11,7	
II/2	31	6	10,0	10,4	2,5	2,0	3,3	8,3	15,1	13,9
III	25	5	9,8	8,7	2,6	2,5	4,3	5,1	13,8	13,1
Total	92	20	9,6	8,9	2,3	2,4	3,3	3,2	15,1	13,9

#### 4.4.2. Laterotrusion nach links (Tab. 12.)

Die mittleren Messwerte der Laterotrusion nach links in der Kindergruppe variieren zwischen 9,3 mm (Klasse I), 9,4 mm (Klasse III), 9,8 mm (Klasse II/2) und 11,4 mm (Klasse II/1) mit einer Standardabweichung zwischen 1,7 mm (Klasse I), 2,1 mm (Klasse II/2), 2,4 mm (Klasse II/1) und 2,6 mm (Klasse III). Die kürzeste Laterotrusion nach links liegt bei 0,4 mm (Klasse III) und die längste bei 15,1 mm in Klasse II/1. In der Erwachsenengruppe liegen die mittleren Messwerte der Laterotrusion nach links zwischen 8,3 mm (Klasse III), 8,7 mm (Klasse I) und 10,4 mm (Klasse II/2) mit einer Standardabweichung zwischen 1,9 mm (Klasse I), 2,7 mm (Klasse II/2) und 3,1 mm (Klasse III). Die kürzeste registrierte Laterotrusion nach links liegt mit 3,6 mm bei Klasse III und die längste bei 14,1 mm in Klasse II/2. Beim Vergleich des mittleren Messwertes der Laterotrusion nach links aller Angle-Klassen der Kindergruppe von 9,6 mm mit dem mittleren Messwert der Erwachsenengruppe von 9,1 mm ist die Kindergruppe äquivalent zu 105,5% der Erwachsenengruppe. In Relation der verschiedenen Angle-Klassen zeigen sich folgende Ergebnisse: 106,9% (Klasse I), 94,2% (Klasse II/2) und 113,3% (Klasse III). Innerhalb der Erwachsenengruppe und innerhalb der Kindergruppe fanden wir keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Angle-Klassen. Werden beide Gruppen zusammen betrachtet, zeigt ANOVA signifikante Unterschiede. Bei Anwendung der Bonferroni-Korrektur fanden sich keine signifikanten Unterschiede.

Tab. 12. Messwerte Laterotrusion links inzisal.

<b>LILAT_IN</b>										
Angle-Klasse	n	Mean (mm)		S.D. (mm)		Minimum (mm)		Maximum (mm)		ANOVA p-value
		GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	
I	29	9		9,3	8,7	1,7	1,9	5,7	6,3	0,05
II/1	7	0		11,4		2,4		7,9	15,1	
II/2	31	6		9,8	10,4	2,1	2,7	4,2	7,3	
III	25	5		9,4	8,3	2,6	3,1	0,4	3,6	
Total	92	20		9,6	9,1	2,2	2,6	0,4	3,6	

#### 4.5. Mundöffnung (Tab. 13.)

Die mittleren Messwerte in der Kindergruppe variieren zwischen 43,7 mm (Klasse II/1), 46,1 mm (Klasse I), 46,6 mm (Klasse III) und 48,1 mm (Klasse II/2). Die Standardabweichung liegt bei 4,5 mm (Klasse II/1), 6,5 mm (Klasse I), 6,7 mm (Klasse II/2) und 7,2 mm (Klasse III). Die geringste Öffnungsbewegung liegt bei 28,0 mm (Klasse I), die größte bei 60,8 mm (Klasse II/2). Der mittlere Messwert der Mundöffnung bei den Erwachsenen beträgt etwa 58,6 mm (Klasse III), 53,2 mm (Klasse I) und 49,8 mm (Klasse II/2) mit einem Minimum von 37,7 mm (Klasse II/2) und einem Maximum von 66,8 mm in Klasse III. Die Standardabweichung liegt bei 4,2 mm (Klasse I), 4,4 mm (Klasse III) und 9,3 mm (Klasse II/2). Im Vergleich der mittleren Mundöffnungswerte aller Angle-Klassen (Klasse I-III) der Kindergruppe von 46,7 mm mit der mittleren Mundöffnung aller Klassen der Erwachsenengruppe von 53,5 mm, beträgt die Mundöffnungskapazität der Kinder 87,3% der Erwachsenengruppe. Aufgeteilt in die Angle-Klassen ergeben sich folgende Werte: Klasse I 86,7%, Klasse II/2 96,9% und Klasse III 79,5%. Innerhalb der Kindergruppe (GR1) gibt es keine signifikanten Abweichungen zwischen den Angle-Klassen. Innerhalb der Erwachsenengruppe zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen den Angle-Klassen ( $p < 0,05$ ). Bei Anwendung der Bonferroni-Korrektur zeigen sich keine signifikanten Unterschiede. Kindergruppe und Erwachsenengruppe zusammen zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Angle-Klassen.

Tab. 13. Messwerte Mundöffnung inzisal.

ÖFF_IN											
Angle-Klasse	n		Mean (mm)		S.D. (mm)		Minimum (mm)		Maximum (mm)		ANOVA p-value
	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR 1	GR 2	GR 1	GR 2	
I	29	9	46,1	53,2	6,5	4,2	28,0	43,1	59,2	60,2	0,05
II/1	7	0	43,7		4,5		35,8		49,1		
II/2	31	6	48,1	49,8	6,7	9,3	35,4	37,9	60,8	64,6	
III	25	5	46,6	58,6	7,2	4,4	32,0	53,3	59,2	66,8	
Total	92	20	46,7	53,5	6,7	6,9	28,0	37,9	60,8	66,8	

#### 4.6. Kondylenbahnneigungswinkel

##### 4.6.1. Kondylenbahnneigungswinkel nach 3 mm Protrusion rechts (Tab. 14.)

Auf der rechten Seite liegt der Kondylenbahnneigungswinkel nach 3 mm Protrusion in der Kindergruppe zwischen 34,2° (Klasse III), 35,9° (Klasse II/2), 34,8° (Klasse II/1) und 38,6° (Klasse I), mit einer Standardabweichung zwischen 9° (Klasse III), 9,1° (Klasse I), 10,8° (Klasse II/1) und 11,9° (Klasse II/2). Der geringste gemessene Winkel ist -3,3° (Klasse II/2) und der größte ist 55,4° (Klasse I). In der Erwachsenengruppe variiert der mittlere Kondylenbahnneigungswinkel nach 3 mm Protrusion rechts zwischen 44,2° (Klasse II/2), 45,4° (Klasse III) und 47,2° (Klasse I), mit einer Standardabweichung zwischen 10,2° (Klasse I), 12,5° (Klasse II/2) und 14,1° (Klasse III). Der kleinste gemessene Winkel liegt bei 21,7° (Klasse III) und der größte bei 65,1° (Klasse I). Beim Vergleich des mittleren Kondylenbahnneigungswinkels der rechten Seite aus allen Untergruppen der Kindergruppe (36,5°), mit dem mittleren Wert der Erwachsenengruppe (45,9°), ist der mittlere Wert der Kindergruppe äquivalent zu 79,5% der Erwachsenengruppe. In Relation der verschiedenen Angle-Klassen zeigen sich folgende Ergebnisse: 81,8 % (Klasse I), 81,2% (Klasse II/2) und 75,3% (Klasse III). Innerhalb der Kindergruppe und innerhalb der Erwachsenengruppe zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Angle-Klassen. Auch bei Betrachtung beider Gruppen gemeinsam fanden wir keine signifikanten Unterschiede.

Tab. 14. Messwerte Kondylenbahnneigungswinkel nach 3 mm Protrusion rechts.

<b>KBNW_3_RE</b>											
Angle-Klasse	n	Mean (°)		S.D. (°)		Minimum (°)		Maximum (°)		ANOVA p-value	
		GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2
I	29	9	38,6	47,2	9,1	10,2	17,2	31,5	55,4	65,1	0,05
II/1	7	0	38,4		10,8		17,7		48,3		
II/2	31	6	35,9	44,2	11,9	12,5	-3,3	22,2	52,5	58,4	
III	25	5	34,2	45,4	9,0	14,1	18,0	21,7	51,1	64,0	
Total	92	20	36,5	45,9	10,2	11,7	-3,3	21,7	55,4	65,1	

#### 4.6.2. Kondylenbahnneigungswinkel nach 3 mm Protrusion links (Tab. 15.)

Der Kondylenbahnneigungswinkel nach 3 mm Protrusion links in der Kindergruppe liegt zwischen 34,2° (Klasse II/2), 35,9° (Klasse III), 36,8° (Klasse II/1) und 38,3° (Klasse I), mit einer Standardabweichung von 9,3° (Klasse I), 9,5° (Klasse III), 11,9° (Klasse II/1) und 12,8° (Klasse II/2). Der geringste Wert zeigt sich mit -12,2° (Klasse II/2) und der größte mit 57,6° (Klasse I). In der Erwachsenengruppe variiert der Kondylenbahnneigungswinkel nach 3 mm Protrusion links zwischen 42,2° (Klasse II/2), 47,4° (Klasse III) und 49,8° (Klasse I), mit einer Standardabweichung zwischen 7,4° (Klasse I), 12,0° (Klasse III) und 13,1° (Klasse II/2). Der geringste gemessene Wert liegt bei 18,5° (Klasse II/2) und der größte bei 64,6° (Klasse III). Beim Vergleich des mittleren Kondylenbahnneigungswinkel links aller Kinderuntergruppen von 36,2° mit dem mittleren aller Erwachsenen von 46,9° ergibt sich, dass die Kindergruppe äquivalent ist zu 77,2% der Erwachsenengruppe. In Relation zu den Angle-Klassen zeigt sich folgendes Ergebnis: 76,9% (Klasse I), 81,0% (Klasse II/2) und 75,7% (Klasse III). Innerhalb der Kindergruppe und innerhalb der Erwachsenengruppe fanden wir keine signifikanten Unterschiede zwischen den Angle-Klassen. Auch bei Betrachtung beider Gruppen gemeinsam sind keine signifikanten Unterschiede feststellbar.

Tab. 15. Messwerte Kondylenbahnneigungswinkel nach 3 mm Protrusion links.

<b>KBNW_3_LI</b>											
Angle-Klasse	n	Mean (°)		S.D. (°)		Minimum (°)		Maximum (°)		ANOVA p-value	
		GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2
I	29	9		38,3	49,8	9,3	7,4	17,4	35,4	57,6	62,1
II/1	7	0		36,8		11,9		19,4		51,7	
II/2	31	6		34,2	42,2	12,8	13,1	-12,2	18,5	53,9	61,6
III	25	5		35,9	47,4	9,5	12,0	15,3	27,8	51,8	64,6
Total	92	20		36,2	46,9	10,8	10,9	-12,2	18,5	57,6	64,6



#### 4.6.3. Kondylenbahnneigungswinkel nach 5 mm Protrusion rechts (Tab. 16.)

Die mittleren Messwerte der Kindergruppe für den Kondylenbahnneigungswinkel nach 5 mm Protrusion auf der rechten Seite liegen zwischen 32,8° (Klasse III), 34,2° (Klasse II/2), 34,5° (Klasse II/1) und 35,7° (Klasse I) mit einer Standardabweichung zwischen 7,6° (Klasse I), 7,7° (Klasse III), 8,5° (Klasse II/2) und 9,7° (Klasse II/1). Der kleinste Kondylenbahnneigungswinkel liegt bei 12,2° (Klasse II/2) und der größte bei 52,1° (Klasse I). In der Erwachsenenengruppe variiert der mittlere Kondylenbahnneigungswinkel nach 5 mm Protrusion rechts zwischen 41,1° (Klasse II/2), 42,5° (Klasse III) und 45,2° (Klasse I), mit einer Standardabweichung zwischen 8,8° (Klasse I), 11,8° (Klasse II/2) und 12,0° (Klasse III). Der geringste Winkel liegt bei 20,4° (Klasse II/2) und der größte bei 61,3° (Klasse I). Im Vergleich der mittleren Messwerte des Kondylenbahnneigungswinkels nach 5 mm Protrusion im rechten Kiefergelenk der Kindergruppe (34,3°) mit denen der Erwachsenenengruppe (43,3°), ist die Kindergruppe äquivalent zu 79,2% der Erwachsenenengruppe. In Relation zu den verschiedenen Angle-Klassen fanden wir folgende Ergebnisse: 79,0% (Klasse I), 83,2% (Klasse II/2) und 77,2% (Klasse III). Innerhalb der Kindergruppe und innerhalb der Erwachsenenengruppe zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Angle-Klassen. Auch bei Betrachtung beider Gruppen gemeinsam konnten wir keine signifikanten Unterschiede feststellen.

Tab. 16. Messwerte Kondylenbahnneigungswinkel nach 5 mm Protrusion rechts.

<b>KBNW_5_RE</b>											
Angle-Klasse	n	Mean (°)		S.D. (°)		Minimum (°)		Maximum (°)		ANOVA p-value	
		GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2
I	29	9	35,7	45,2	7,6	8,8	14,6	30,4	52,1	61,3	0,05
II/1	7	0	34,5		9,7		17,9		46,1		
II/2	31	6	34,2	41,1	8,5	11,8	12,2	20,4	49,3	55,2	
III	25	5	32,8	42,5	7,7	12,0	18,9	20,9	47,5	55,5	
Total	92	20	34,3	43,3	8,1	10,5	12,2	20,4	52,1	61,3	

#### 4.6.4. Kondylenbahnneigungswinkel nach 5 mm Protrusion links (Tab. 17.)

Die mittleren Messwerte des Kondylenbahnneigungswinkels nach 5 mm Protrusion des linken Kiefergelenks in der Kindergruppe liegen zwischen 33,5° (Klasse II/2, III), 33,8° (Klasse II/1) und 34,9° (Klasse I), mit einer Standardabweichung zwischen 7,9° (Klasse III), 8,7° (Klasse I), 9,0° (Klasse II/2) und 10,4° (Klasse II/1). Der kleinste Winkel liegt bei 7,0° (Klasse II/2) und der größte bei 51,5° (Klasse I). In der Erwachsenengruppe variiert der Kondylenbahnneigungswinkel nach 5 mm Protrusion links zwischen 39,8° (Klasse II/2), 45,2° (Klasse II) und 47,4° (Klasse I) mit einer Standardabweichung zwischen 6,8° (Klasse I), 11,3° (Klasse III) und 12,0° (Klasse II/2). Der kleinste Wert liegt bei 19,9° (Klasse II/2) und der größte bei 59,7° (Klasse III). Der Vergleich der mittleren Messwerte des Kondylenbahnneigungswinkels nach 5 mm Protrusion links der Kindergruppe (34,0°) mit denen der Erwachsenengruppe (44,5°) ergibt, dass die Kindergruppe äquivalent ist zu 76,4% der Erwachsenengruppe. In Relation der verschiedenen Angle-Klassen fanden wir folgende Werte: 73,6% (Klasse I), 84,2% (Klasse II/2) und 74,1% (Klasse III). Innerhalb der Kindergruppe und innerhalb der Erwachsenengruppe zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Angle-Klassen. Auch bei Betrachtung beider Gruppen gemeinsam waren keine signifikanten Unterschiede vorhanden.

Tab. 17. Messwerte Kondylenbahnneigungswinkel nach 5 mm Protrusion links.

<b>KBNW_5_LI</b>											
Angle-Klasse	n		Mean (°)		S.D. (°)		Minimum (°)		Maximum (°)		ANOVA p-value
	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	
I	29	9	34,9	47,4	8,7	6,8	12,0	33,1	51,5	59,3	0,05
II/1	7	0	33,8		10,4		18,8		48,0		
II/2	31	6	33,5	39,8	9,0	12,0	7,0	19,9	49,9	57,0	
III	25	5	33,5	45,2	7,9	11,3	15,6	25,3	49,0	59,7	
Total	92	20	34,0	44,5	8,6	10,0	7,0	19,9	51,5	59,7	

#### 4.7. Bennett-Winkel

##### 4.7.1. Bennett-Winkel nach 3 mm Mediotrusion des rechten Kiefergelenks (Tab. 18.)

Der Bennett-Winkel nach 3 mm Mediotrusion des rechten Kiefergelenks in der Kindergruppe liegt zwischen 11,0° (Klasse II/1), 11,1° (Klasse III), 11,7° (Klasse II/2) und 12,0° (Klasse I) mit einer Standardabweichung zwischen 5,1° (Klasse III), 5,9° (Klasse I, II/2) und 6,2° (Klasse II/1). Der kleinste Winkel liegt bei 1,0° (Klasse III) und der größte bei 26,5° (Klasse II/2). In der Erwachsenengruppe variiert der Bennett-Winkel nach 3 mm Mediotrusion des rechten Kiefergelenks zwischen 14,3° (Klasse III), 14,7° (Klasse II/2) und 17,1° (Klasse I), mit einer Standardabweichung zwischen 2,9° (Klasse III), 6,9° (Klasse II/2) und 9,0° (Klasse I). Der kleinste Wert zeigt sich mit 3,6° (Klasse II/2) und der größte bei 38,5° (Klasse I). Beim Vergleich der Messwerte des Bennett-Winkels nach 3 mm Mediotrusion des rechten Kiefergelenks der Kindergruppe (11,6°) mit denen der Erwachsenengruppe (15,6°), ist die Kindergruppe äquivalent zu 74,4% der Erwachsenengruppe. In Relation der verschiedenen Angle-Klassen ergeben sich folgende Werte: 70,2% (Klasse I), 79,6% (Klasse II/2) und 77,6% (Klasse III). Innerhalb der Kindergruppe und innerhalb der Erwachsenengruppe fanden wir keine signifikanten Unterschiede zwischen den Angle-Klassen. Auch bei Betrachtung beider Gruppen gemeinsam stellten wir keine signifikanten Unterschiede fest.

Tab. 18. Messwerte Bennett-Winkel nach 3 mm Mediotrusion rechts.

<b>BEN_3_RE</b>											
Angle-Klasse	n	Mean (°)		S.D. (°)		Minimum (°)		Maximum (°)		ANOVA p-value	
		GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2
I	29	9		12,0	17,1	5,9	9,0	1,9	6,3	25,2	38,5
II/1	7	0		11,0		6,2		1,7		17,8	
II/2	31	6		11,7	14,7	5,9	6,9	1,3	3,6	26,5	29,8
III	25	5		11,1	14,3	5,1	2,9	1,0	9,3	19,9	18,4
Total	92	20		11,6	15,6	5,6	7,2	1,0	3,6	26,5	38,5

#### 4.7.2. Bennett-Winkel nach 3 mm Mediotrusion des linken Kiefergelenks (Tab. 19.)

Die Messwerte des Bennett-Winkels nach 3 mm Mediotrusion des linken Kiefergelenks in der Kindergruppe zeigen Werte zwischen 9,6° (Klasse II/1), 10,4° (Klasse I, III) und 11,9° (Klasse II/2) mit einer Standardabweichung zwischen 4,9° (Klasse I), 5,5° (Klasse III), 5,7° (Klasse II/1) und 5,8° (Klasse II/2). Der kleinste Wert zeigt sich mit 1,3° (Klasse II/1) und der größte mit 25,8° (Klasse III). In der Erwachsenengruppe variieren die mittleren Messwerte des Bennettwinkels von 13,1° (Klasse II/2), 14,3° (Klasse III) und 17,0° (Klasse I) mit einer Standardabweichung von 3,2° (Klasse III), 6,2° (Klasse II/2) und 7,3° (Klasse I). Der kleinste gemessene Winkel liegt bei 3,4° (Klasse II/2) und der größte bei 33,3° (Klasse I). Beim Vergleich des mittleren Bennett-Winkels des linken Kiefergelenkes nach 3 mm Mediotrusion der Kindergruppe (10,8°) mit dem der Erwachsenengruppe (15,1°) ist die Kindergruppe äquivalent zu 71,5% des Bewegungsgrades der Erwachsenengruppe. In Relation der einzelnen Angle-Klassen fanden wir folgende Werte: 61,2% (Klasse I), 90,8% (Klasse II/2) und 72,2% (Klasse III). Innerhalb der Kindergruppe und innerhalb der Erwachsenengruppe zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Angle-Klassen. Auch bei Betrachtung beider Gruppen gemeinsam gibt es keine signifikanten Unterschiede.

Tab. 19. Messwerte Bennett-Winkel nach 3 mm Mediotrusion links.

<b>BEN_3_LI</b>											
Angle-Klasse	n		Mean (°)		S.D. (°)		Minimum (°)		Maximum (°)		ANOVA p-value
	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	
I	29	9	10,4	17,0	4,9	7,3	1,5	7,9	19,0	33,3	0,05
II/1	7	0	9,6		5,7		1,3		18,9		
II/2	31	6	11,9	13,1	5,8	6,2	3,1	3,4	25,4	24,5	
III	25	5	10,4	14,3	5,5	3,2	2,6	7,4	25,8	18,2	
Total	92	20	10,8	15,1	5,4	6,3	1,3	3,4	25,8	33,3	

#### 4.7.3. Bennett-Winkel nach 5 mm Mediotrusion des rechten Kiefergelenks (Tab. 20)

In der Erwachsenengruppe betragen die mittleren Messwerte des Bennett-Winkels nach 5 mm Mediotrusion des rechten Kiefergelenks 8,1° (Klasse II/1), 9,2° (Klasse I, II/2) und 9,3° (Klasse III), mit einer Standardabweichung von 3,2° (Klasse II/2), 3,8° (Klasse II/1) und 4,6° (Klasse I, III). Der kleinste Winkel beträgt 1,2° (Klasse I) und der größte 21,4° (Klasse I). In der Erwachsenengruppe variiert der mittlere Bennett-Winkel zwischen 11,4° (Klasse II/2), 11,8° (Klasse III) und 15,1° (Klasse I), mit einer Standardabweichung zwischen 1,7° (Klasse III), 5,0° (Klasse II/2) und 7,9° (Klasse I). Der geringste Messwert liegt bei 2,5° (Klasse II/2), der größte bei 36,4° (Klasse I). Beim Vergleich der mittleren Messwerte des Bennett-Winkels nach 5 mm Mediotrusion des rechten Kiefergelenks der Kindergruppe (9,2°) mit denen der Erwachsenengruppe (13,2°) ist die Kindergruppe äquivalent zu 69,7% der Erwachsenengruppe. In Relation der einzelnen Angle-Klassen zeigen sich folgende Werte: 60,9% (Klasse I), 80,7% (Klasse II/2) sowie 78,8% (Klasse III). Innerhalb der Kindergruppe und innerhalb der Erwachsenengruppe fanden wir keine signifikanten Unterschiede zwischen den Angle-Klassen. Auch bei Betrachtung beider Gruppen gemeinsam sind keine signifikanten Unterschiede feststellbar.

Tab. 20. Messwerte Bennett-Winkel nach 5 mm Mediotrusion rechts.

<b>BEN_5_RE</b>											
Angle-Klasse	n	Mean (°)		S.D. (°)		Minimum (°)		Maximum (°)		ANOVA p-value	
		GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2
I	29	9		9,2	15,1	4,6	7,9	1,2	7,5	21,4	36,4
II/1	7	0		8,1		3,8		3,7		15,4	
II/2	31	6		9,2	11,4	3,2	5,0	3,7	2,5	15,4	20,1
III	25	5		9,3	11,8	4,6	1,7	2,5	8,4	17,3	14,0
Total	92	20		9,2	13,2	3,9	6,2	1,2	2,5	21,4	36,4

#### 4.7.4. Bennett-Winkel nach 5 mm Mediotrusion des linken Kiefergelenks (Tab. 21.)

Die mittleren Messwerte des Bennettwinkels nach 5 mm Mediotrusion des linken Kiefergelenks in der Kindergruppe liegen bei 7,7° (Klasse II/1), 7,9° (Klasse I), 8,3° (Klasse II/2) und 9,4° (Klasse III) mit einer Standardabweichung zwischen 4,1° (Klasse I), 4,2° (Klasse II/2), 4,4° (Klasse II/1) und 4,5° (Klasse III). Der kleinste registrierte Wert ist 1,6° (Klasse I) und der größte 20,7° (Klasse III). In der Erwachsenenengruppe variieren die Messwerte zwischen 11,0° (Klasse II/2), 12,1° (Klasse III) und 14,6° (Klasse I), mit einer Standardabweichung zwischen 2,6° (Klasse III), 5,5° (Klasse II/2) und 7,4° (Klasse I). Der kleinste Winkel liegt bei 2,9° (Klasse II/2) und der größte bei 35,9° (Klasse I). Beim Vergleich der mittleren Messwerte des Bennettwinkels nach 5 mm Mediotrusion des linken Kiefergelenks der Kindergruppe (8,4°) mit der Erwachsenenengruppe (12,9°) zeigt die Kindergruppe eine Äquivalenz von 65,1% zu der Erwachsenenengruppe. In Relation zu den Angle-Klassen sind folgende Werte feststellbar: 54,1% (Klasse I), 75,5% (Klasse II/2) und 77,7% (Klasse III). Innerhalb der Kindergruppe und innerhalb der Erwachsenenengruppe fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Angle-Klassen. Auch bei Betrachtung beider Gruppen gemeinsam zeigen sich keine signifikanten Unterschiede.

Tab. 21. Messwerte Bennett-Winkel nach 5 mm Mediotrusion links.

<b>BEN_5_LI</b>											
Angle-Klasse	n	Mean (°)		S.D. (°)		Minimum (°)		Maximum (°)		ANOVA p-value	
		GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2	GR1	GR2
I	29	9	7,9	14,6	4,1	7,4	1,6	7,2	16,9	35,9	0,05
II/1	7	0	7,7		4,4		1,8		15,5		
II/2	31	6	8,3	11,0	4,2	5,5	2,2	2,9	18,6	20,2	
III	25	5	9,4	12,1	4,5	2,6	3,1	7,2	20,7	15,8	
Total	92	20	8,4	12,9	4,2	6,1	1,6	2,9	20,7	35,9	

## **5. Diskussion**

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die kinematischen Variablen von Unterkieferbewegungen von kieferorthopädisch unbehandelten Kindern zu analysieren und mögliche Korrelationen zu den entsprechenden Angle-Klassen herauszufinden.

### **5.1. Diskussion zur Patientenauswahl**

Die Patienten der vorliegenden Arbeit wurden aus zwei Grundschulen in Deutschland ausgewählt. Die Schule 1 ist eine Grundschule in Regensburg in Bayern, die Schule 2 eine Grundschule in Paderborn in Nordrhein-Westfalen. Somit waren die Patienten auch in geografischer Hinsicht gemischt. Die Erwachsenenkontrollgruppe bestand aus Personen, welche zufällig aus der Umgebung der Untersucherin stammten. Die untersuchten Kinder sollten in der Wechselgebissphase sein und noch nicht kieferorthopädisch behandelt worden sein. Bei den Erwachsenen sollten vollbezahnte permanente Gebisse ohne prothetische Restaurationen wie Kronen oder Brücken vorhanden sein. Alle diese Forderungen wurden erfüllt. Kinder, bei denen zum Zeitpunkt der Untersuchung Milchzähne gelockert waren, oder Kinder, welche die Milchzähne eventuell vorzeitig verloren hatten, wurden mit in die Untersuchung einbezogen. Es musste jedoch sichergestellt sein, dass diese Gegebenheiten weder bei der Einteilung der Angle-Klassen störten, noch dass Bewegungsspuren zum Beispiel durch Vorkontakte auf gelockerten Milchzähnen beeinflusst wurden. Beide Schulen befanden sich in mittelständischen Wohngebieten. Ob die Auswahl der Schulen und somit der untersuchten Kinder bei Auswahl anderer Schulen in anderen Teilen Deutschlands andere Untersuchungsergebnisse ergeben hätte ist nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Die Untersuchung der Kinder während eines laufenden Schultages gestaltete sich teilweise etwas schwierig. Der Großteil der Kinder war sehr neugierig und wollte unbedingt an der Untersuchung teilnehmen. Für viele Kinder war es sehr schwierig, sich über die komplette Dauer einer Untersuchung von ca. einer halben Stunde zu konzentrieren und ruhig zu bleiben. Lediglich ein Proband konnte die Untersuchung nicht zu Ende bringen. Es musste die Axiographie unterbrochen werden. Der älteste Proband aus der Kontrollgruppe war 34,7 Jahre alt. Späteren Untersuchungen ist vorbehalten, inwieweit eine größere Altersverteilung in der Erwachsenengruppe andere Ergebnisse geliefert hätte. In der Erwachsenengruppe befanden

sich keine Patienten mit einer Angle-Klasse II/1. Somit lässt sich der Vergleich der Angle-Klassen in der Klasse II nur mit der Angle-Klasse II/2 kritiklos durchführen.

## **5.2. Diskussion zur Methode**

In der vorliegenden Arbeit gliederte sich die Untersuchung der Patienten in eine klinische und in eine instrumentelle Untersuchung. Die klinische Untersuchung umfasste die visuelle Betrachtung des stomatognathen Systems und die Palpation der Kiefergelenke, sowie der Muskulatur und Knochenstrukturen im Kopfbereich. Es durften keine Missempfindungen, Schmerzen, Bewegungseinschränkungen, Verletzungen oder Anzeichen einer kranio-mandibulären Dysfunktion vorhanden sein. Während der klinischen Untersuchung wurden die Parameter Alter, Geschlecht, Körpergröße und Körpergewicht, habituelle Okklusion, Mundatmung, Gesichtstyp, Overjet und Overbite, Abrasionen oder Schliiffacetten und mögliche Schmerzen im Kiefergelenk untersucht. Die instrumentelle Untersuchung wurde mit dem JMA-System durchgeführt. Bereits andere Autoren (Reichender, 2008, 2009; Baqaien, 2006, 2007, 2009) haben dieses Gerät benutzt, um Funktion und Zusammenhänge des stomatognathen Systems herauszustellen. Das JMA-System ermöglicht Aufnahmen von Bewegungsspuren der Kondylen und des Inzisalpunktes. Die Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit der Messungen des JMA-Systems wurden von Wessling (2003) und von Verch (2002) analysiert. Um auch in der vorliegenden Arbeit möglichst reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, sollten die Kinder für die Untersuchung in einer entspannten aufrechten Sitzposition untersucht werden. Der Untersucher saß vor dem Patienten und zeigte zunächst die anschließend durchzuführenden Bewegungen: Mundöffnung, Protrusion, Retrusion, Laterotrusion rechts und links. Zur Vorbereitung auf die Untersuchung wurden alle Bewegungen gemeinsam geübt, zweimal aufgezeichnet und der Durchschnittswert beider Aufzeichnungen ermittelt. Jede Bewegung sollte in maximaler Interkuspitation beginnen und enden und es sollte darauf geachtet werden, dass jede Bewegung zahngeführt durchgeführt wird. Dies erschien vielen Kindern zunächst schwierig. Nach mehreren Versuchen konnten die gewünschten Bewegungen entsprechend durchgeführt werden. Es musste darauf geachtet werden, dass die Patienten während der Axiographie möglichst nicht wackelten. Obwohl der Gesichtsbogen mit dem entsprechenden Empfängersensor und der Sensor an den Unterkieferfrontzähnen gut befestigt wurden, hätte es sonst zu Lockerungen der Apparatur und somit zu falschen Aufzeichnungen führen können. Die Bissgabel, an welcher der



Unterkiefersensor befestigt war, wurde an den labialen Flächen der Unterkieferfrontzähne befestigt. Es musste darauf geachtet werden, dass kein Kunststoff oder die Bissgabel selbst bei der maximalen Interkuspidation oder den Bewegungen störte. Diese sollte nicht in Kontakt mit den Zähnen des Oberkiefers kommen, um somit nicht die Funktion des Unterkiefers zu beeinträchtigen. Bei einigen Patienten löste sich die Bissgabel von den Labialflächen der Unterkieferfrontzähne, bevor die Axiographie beendet werden konnte. In diesen Fällen musste die Bissgabel komplett entfernt, alles gereinigt und neu befestigt werden. Anschließend musste die Untersuchung komplett wiederholt werden. Eine leichte Veränderung der Position der Bissgabel hätte sonst zu falschen Registrierungen geführt. Da die Kondylen während der Bewegungen des Unterkiefers nicht nur translatorische, sondern auch rotatorische Bewegungen vollziehen, ist es wichtig vor der Analyse der Bewegungen der Kondylen geeignete Referenzpunkte festzulegen. Durch die Rotationskomponente der Bewegungen ergeben unterschiedliche Referenzpunkte entsprechend andere Bewegungsspuren (Zwijnenburg, 1996; Ćatić et al., 1999). In der vorliegenden Arbeit musste vor Beginn der Messungen eine entsprechende Referenzebene festgelegt werden. Es wird ausgewählt, durch welche Punkte die Achsenposition der Kondylen bestimmt werden soll. In dieser Studie wurde die arbiträre Achs-Orbital-Ebene ausgewählt. Die Achs-Orbital-Ebene wird durch Ear tragus sup. rechts und links und den unteren Rand der rechten knöchernen Orbita festgelegt. Die Eingabe der Kondylenpunkte erfolgte hier durch direktes Abtasten von Hautpunkten mit dem T-Zeiger. Die Offsetwerte zur Kondylenposition wurden vom Programm automatisch hinzugefügt. Es gab auch die Möglichkeit zur terminalen oder zur kinematischen Achsbestimmung. Die arbiträre Methode zur Achsenbestimmung wurde benutzt, da sie ziemlich einfach und schnell zu bestimmen ist. Sie wurde in anderen Studien untersucht (Teteruck, Lundeen, 1966; Bernhardt et al., 2003). Bernhardt et al. (2003) stellten heraus, dass die arbiträr bestimmten Referenzpunkte zuverlässig zu verwenden sind. Bei der kinematischen Achsenbestimmung erfolgt die Errechnung der Achsenposition aus Öffnungs- und Schließbewegungen. Die kinematische Achse ist so definiert, dass die Bewegungsspuren der Kondylenpunkte bei der Öffnungsbewegung des Unterkiefers eine möglichst große Ähnlichkeit zu den Bewegungsspuren der Protrusionsbewegung aufweisen (WinJaw 10.5.xx für Windows Bedienungsanleitung). Baqaein (2006) stellte fest, dass bei vielen Kindern die Bewegungsspuren der Öffnungs- und Protrusionsbewegung nicht übereinstimmen und es daher bei Kindern sinnvoller, ist die arbiträre Methode zu verwenden. Die Bestimmung der individuellen terminalen Scharnierachse benötigt ebenfalls entsprechende korrekte Bewegungen für die Detektion der Achse im Softwareprogramm und ist besonders für die

Artikulatorprogrammierung geeignet (Ćatić et al., 1999). Die aufgezeichneten Daten wurden für die statistische Daten-Analyse mit dem SPSS Software Programm mit einem Experten der Biostatistik ausgewertet.

### **5.3. Diskussion zu den Untersuchungsergebnissen**

#### **5.3.1. Öffnen (Kondylenbahnlänge)**

In der Kindergruppe liegt die Kondylenbahnlänge des rechten Condylus bei 16,4 mm  $\pm$  3,6 mm und die des linken Condylus bei 17,1 mm  $\pm$  3,8 mm. Minimum des rechten Condylus liegt bei 6,8 mm und des linken bei 7,3 mm. Maximum des rechten Condylus ist 28,0 mm und des linken 32,6 mm. In der Erwachsenengruppe liegt die Kondylenbahnlänge des rechten Condylus bei 17,5 mm  $\pm$  4,5 mm und die des linken Condylus bei 18,7  $\pm$  4,8 mm. Minimum des rechten Condylus ist 4,9 mm und des linken 7,0 mm. Maximum des rechten Condylus ist 26,2 mm und des linken 26,6 mm.

Travers et al. (2000) fanden in ihrer Studie Werte die unseren nahe kamen. Bei erwachsenen jungen Frauen lag die gemessene Kondylenbahnlänge bei 14 mm rechts und 14,6 mm für den linken Condylus.

In der vorliegenden Studie zeigen die Messwerte der Kindergruppe, dass die Kondylenbahnlänge der Klasse II/2-Gruppe die größten Werte annimmt, es folgen Klasse II/1, Klasse III und Klasse I. In der Erwachsenengruppe zeigt Klasse II/2 eine gegensätzliche Tendenz, hier ist die Kondylenbahnlänge der Klasse II der geringste im Vergleich aller Angle-Klassen.

Gsellmann et al. (1998) untersuchten Patienten mit anteriorer Diskusdislokation mit Reposition und symptomfreie Patienten. Sie zeigten in Ihren Axiographien, dass Patienten mit Diskusdislokationen signifikant kürzere Kondylenbahnlängen während Öffnungs- und Schließbewegungen vorwiesen. Die Ergebnisse zeigten sich nicht bei allen Bewegungen und nicht in beiden Gelenken in gleicher Ausprägung. Gesunde Probanden hatten durchschnittliche Kondylenbahnlängen von 16,3 mm  $\pm$  4,3 mm rechts und 15,9 mm  $\pm$  3,9 mm links.

### **5.3.2. Retrusion**

In der vorliegenden Arbeit wurde die Retrusion der Kondylen aus dem sagittalen Bewegungsanteil der Laterotrusion berechnet. In der Kindergruppe zeigt die Retrusion der Kondylen 0,22 mm +/- 0,47 mm für den rechten Condylus und 0,25 mm +/- 0,40 mm für den linken Condylus. Bei einigen Probanden wurde keine Retrusion für den rechten und linken Condylus gemessen. Das Maximum lag bei 3,20 mm rechts und bei 2,30 mm links. In der Erwachsenenengruppe zeigt die Retrusion der Kondylen 0,18 mm +/- 0,34 mm für den rechten Condylus und 0,15 mm +/- 0,23 für den linken Condylus. Auch in dieser Gruppe war bei einigen Probanden keine Retrusion auf beiden Seiten möglich. Es wurde ein Maximum von 1,70 mm rechts und 1,00 mm links festgestellt. Die Bewegungsspur der Retrusion zeigt bei Klasse II/2 und Klasse III in der Kindergruppe die größten Werte. In der Erwachsenenengruppe zeigen sich sehr unterschiedliche Tendenzen zu den maximalen Bewegungsausmaßen bezüglich der Angle-Klassen. Klasse II/2 nimmt hier in maximaler Retrusion die kleinsten Werte an. Die höchsten Werte zeigt hier Klasse III bei den Erwachsenen.

Die Untersuchungen von Reicheneder et al. (2009) zeigten größere Werte im Vergleich zu unseren Messungen. Die durchschnittliche maximale Retrusion der rechten und der linken Seite lag bei 0,6 mm in der Kindergruppe mit einem Alter zwischen 6 und 10 Jahren. Die durchschnittliche Retrusion in der Erwachsenenengruppe war in dieser Untersuchung kleiner im Vergleich zur Kindergruppe und lag bei 0,3 mm rechts und 0,4 mm links. Die Ergebnisse zwischen der Kinder- und der Erwachsenenengruppe waren signifikant unterschiedlich. Auch in unserer Studie waren die Werte der Erwachsenenengruppe für die Retrusion kleiner als für die Kindergruppe.

Baqaien (2006) fand ebenfalls größere Werte als in der vorliegenden Studie. Der durchschnittliche Wert für die maximale Retrusion lag bei 0,3 mm für beide Kondylen in der Kindergruppe. In der Erwachsenenengruppe wurde rechts 0,4 mm und links 0,3 mm ermittelt.

### **5.3.3. Laterotrusion**

In der Kindergruppe liegt die Laterotrusion nach rechts bei 9,6 mm +/- 2,3 mm, sowie nach links bei 9,6 mm +/- 2,2 mm. Die Laterotrusion nach rechts reicht von minimal 3,3 mm bis zu maximal 15,1 mm, sowie die Laterotrusion nach links von 0,4 mm bis zu 15,1 mm. In der Erwachsenenengruppe liegt die maximale Laterotrusion nach rechts bei 8,9 mm +/- 2,4 mm,

sowie nach links bei 9,1 mm +/- 2,6 mm. Die mindeste Laterotrusion nach rechts reicht von 3,2 mm bis maximal 13,9 mm, sowie die Laterotrusion nach links von 3,6 mm bis 14,1 mm.

Hirsch et al. (2006) fanden in Ihrer Studie Ergebnisse, die zwischen den zwei Gruppen der vorliegenden Arbeit liegen. Untersucht wurden 1011 zufällig ausgewählte Kinder und Jugendliche zwischen 10 und 17 Jahren. In der Studie der Autoren lag die mittlere rechtslaterale Bewegung bei 10,2 mm +/- 2,2 mm, sowie für linkslateral bei 10,6 mm +/- 2,3 mm. Die Laterotrusion reichte rechts von 3 mm bis 17 mm, sowie die Laterotrusion nach links von 3 mm bis 21 mm. Im Vergleich zeigte sich somit bei der Laterotrusion zunächst eine Zunahme, danach eine Abnahme des Bewegungsausmaßes.

Unter Betrachtung der verschiedenen Angle-Klassen zeigt die vorliegende Studie bei Kindern mit einer Klasse II/2 Konfiguration größere Bewegungsausmaße der Kiefergelenksbewegungen als bei Gleichaltrigen mit einer Klasse I, Klasse II/1 oder Klasse III.

Zimmer et al. (1991) untersuchten 75 kieferorthopädisch unbehandelte junge Erwachsene, welche klinisch gesund waren oder nur schwache Symptome einer Kiefergelenkdysfunktion aufwiesen. Diese wurden in Gruppen nach ihrer sagittalen Molaren-Verzahnung eingeteilt in Klasse I, Klasse II oder Klasse III. Die Ergebnisse zeigten, dass bei der Pro- und Mediotrusion die mandibuläre Bewegungskapazität in der Klasse II-Gruppe größer war als in der Klasse I-Gruppe, und in der Klasse I-Gruppe größer als in der Klasse III-Gruppe. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit einer Studie von Ingervall (1970), welcher ebenso eine Korrelation zwischen der mandibulären Bewegungskapazität und der sagittalen skelettalen Beziehung bei Kindern fand, jedoch keine Korrelation bei Erwachsenen (Ingervall, 1971).

In der vorliegenden Studie zeigen die Aufnahmen der Kindergruppe, dass bei der Laterotrusion Klasse II/1 und Klasse II/2 die größten Werte für beide Seiten zeigen. In der Erwachsenenengruppe zeigt sich teilweise eine entgegengesetzte Tendenz. Hier zeigt Klasse II/2 weiterhin die größten Werte bei der Laterotrusion rechts und links, aber die kleinsten Werte beim Vergleich der Angle-Klassen bezüglich der maximalen Mundöffnung. Klasse III hat hier die größten Werte.

Buschang et al. (2001) untersuchten die Korrelationen zwischen kondylären und inzisalen Bewegungen während maximaler Protrusion und Laterotrusion bei 27 gesunden erwachsenen Frauen mit normaler Okklusion (Klasse I). Die Autoren fanden einen schwachen Zusammenhang zwischen inzisalen Bewegungen während der Protrusion und der Laterotrusion mit den kondylären Bewegungen. Zur Beurteilung klinischer Funktionsanalysen des Kiefergelenks wurden daher Bewegungen wie die Protrusion und Laterotrusion als

geeigneter im Gegensatz zur reinen Mundöffnungsbewegung eingestuft. Ebenso waren die Bewegungen des linken Condylus signifikant größer als die des rechten während Protrusion und Laterotrusion. In der vorliegenden Arbeit zeigt besonders in der Kindergruppe die linke Seite wenig größere Messwerte in den genannten Bewegungsspuren. Buschang et al. (2011) begründeten diesen Sachverhalt mit normalen morphologischen Asymmetrien oder asymmetrischen Haltungen. Bei der Messung der Laterotrusion des Inzispunktes zeigten die Ergebnisse der genannten Autoren rechts größere Werte (11,45 mm) als links (10,98 mm). In der vorliegenden Arbeit liegt die mittlere maximale Laterotrusion von allen Untergruppen der Kindergruppe bei 9,6 mm (für rechtslateral und linkslateral) und in der Erwachsenenengruppe zeigt sich der mittlere Wert aller Untergruppen bei 8,9 mm rechtslateral und bei 9,1 mm linkslateral.

#### **5.3.4. Mundöffnung**

In der Kindergruppe liegt die mittlere maximale Mundöffnung bei 46,7 mm +/- 6,7 mm. Die geringste Mundöffnung liegt bei 28,0 mm und die größte registrierte maximale Mundöffnung bei 60,8 mm. In der Erwachsenenengruppe befindet sich die mittlere maximale Mundöffnung inzisal gemessen bei 53,5 mm +/- 6,9 mm. Die mindeste Mundöffnung ist 37,9 mm und die maximale 66,8 mm.

Sheppard and Sheppard (1965) bezeichneten die maximale Mundöffnungskapazität als wichtiges diagnostisches Mittel zur Überprüfung der normalen Funktion oder einer Dysfunktion des Unterkiefers. Rosenbaum (1975) hingegen konnte keine signifikanten Zusammenhänge zwischen einer Kiefergelenkdysfunktion und der maximalen Mundöffnungskapazität feststellen.

Clark und Lynn (1986) fanden für die maximale Mundöffnungskapazität bei Patienten mit Kiefergelenkdysfunktionen signifikant kleinere Werte als bei gesunden Probanden. In der Literatur zeigen sich großen Schwankungen zwischen den Normwerten für die maximale Mundöffnungskapazität. Posselt (1952) beschrieb Durchschnittswerte für die maximale Mundöffnung von 43,4 mm. Travell (1960) differenzierte Probanden nach dem Geschlecht und folgte an Hand seiner Untersuchungen, dass Männer Durchschnittswerte für maximale Mundöffnung von 50 mm haben sollten und Frauen Durchschnittswerte von 45 mm. Diese Ergebnisse sind ähnlich denen von Rosenbaum (1975), welcher 44,9 mm als Durchschnittswert für Erwachsene angab. Rieder (1978) zog aus seinen Untersuchungen die

Schlussfolgerung, dass bei Frauen Werte zwischen 35-55 mm und bei Männern Werte zwischen 40-60 mm in der Norm liegen.

Hirsch et al. (2006) fanden in Ihrer Studie Ergebnisse die zwischen den zwei Gruppen der vorliegenden Arbeit liegen. Die Autoren untersuchten 1011 zufällig ausgewählte Kinder und Jugendliche zwischen 10 und 17 Jahren. In ihrer Studie lag die mittlere Mundöffnung bei 50,6 mm +/- 6,4 mm. Diese reichte von 31 mm bis maximal 76 mm. Im Vergleich zeigt sich somit eine Zunahme der Mundöffnung vom Kindesalter bis zum Erwachsenenalter.

Zimmer et al. (1991) untersuchten 75 kieferorthopädisch unbehandelte junge Erwachsene, die klinisch gesund waren oder nur schwache Symptome einer Kiefergelenkdysfunktion aufwiesen. Diese wurden in Gruppen nach ihrer sagittalen Molaren-Verzahnung eingeteilt in Klasse I, Klasse II oder Klasse III. Die Ergebnisse zeigten, dass bei der Pro- und Mediotrusion die mandibuläre Bewegungskapazität in der Klasse II-Gruppe größer war als in der Klasse I-Gruppe und in der Klasse I-Gruppe größer als in der Klasse III-Gruppe. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit einer Studie von Ingervall (1970), welcher ebenso eine Korrelation zwischen der mandibulären Bewegungskapazität und der sagittalen skelettalen Beziehung bei Kindern fand, jedoch keine Korrelation bei Erwachsenen beobachtete.

In der vorliegenden Studie zeigen die Aufnahmen der Kindergruppe, dass bei maximaler Mundöffnung die Klasse II/2-Gruppe die größten Werte hat, danach Klasse II/1, Klasse III sowie Klasse I. In der Erwachsenenengruppe zeigt sich teilweise eine entgegengesetzte Tendenz. Hier hat Klasse II/2 die geringsten Werte beim Vergleich der Angle-Klassen bezüglich der maximalen Mundöffnung, Klasse III die größten Werte. Die vorliegende Arbeit zeigt, dass das inzisale Bewegungsausmaß während maximaler Mundöffnung mit dem kondylären Bewegungsausmaß korreliert. In der Klasse II/2 der Kindergruppe zeigt sich die maximale mittlere Mundöffnungskapazität aller Angle-Klassen mit 48,1 mm. Korrespondierend finden wir die größten Messwerte bei der Kondylenbahnlänge rechts mit 17,8 mm und links bei 18,4 mm ebenfalls bei Klasse II/2.

Nishijima et al. (2000) haben versucht, die Unterschiede zwischen habituellen Öffnungs- und Schließbewegungen des Unterkiefers bei Kindern zu analysieren und diese mit den Ergebnissen bei Erwachsenen zu vergleichen. Sie fanden, dass die erste Dentition die kleinsten anterior-posterior und superior-inferior Bewegungsspielräume hat und die größten links-rechts Bewegungsausmaße. In der vorliegenden Arbeit hat die Kindergruppe ebenso kleinere Ergebnisse für die maximale Mundöffnungskapazität als die Erwachsenenengruppe. Innerhalb der Angle-Klassen zeigt Klasse I die größten Unterschiede in den Bewegungsausmaßen zwischen Kindern und Erwachsenen. Die geringsten Unterschiede

innerhalb einer Klasse zeigt Klasse II/2. In dieser Klasse liegen die Werte der Kinder- und der Erwachsenenengruppe annähernd im selben Bereich. Dieser Unterschied zwischen den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit und den Ergebnissen von Nishijima et al. (2000) kann durch die unterschiedliche Einteilung der Probanden begründet werden. In der vorliegenden Arbeit wurden die Probanden bezüglich Ihrer sagittalen Molaren-Verzahnung eingeteilt, in der Studie von Nishijima et al. (2000) wurde nach Dentitionsalter (Milchgebiss, frühes Wechselgebiss, permanentes Gebiss) klassifiziert.

In der Kindergruppe zeigt sich das Bewegungsfeld weniger homogen als in der Erwachsenenengruppe. In der Kindergruppe fanden sich in allen Untergruppen große Standardabweichungen. Bei der maximalen Mundöffnung beispielsweise liegen diese bei 6,5 mm (Klasse I), 4,5 mm (Klasse II/1), 6,7 mm (Klasse II/2) und 7,2 mm (Klasse III). Bei den Erwachsenen zeigt sich lediglich bei Klasse II/2 eine Standardabweichung von 9,3 mm, in Klasse I liegt diese bei 4,2 mm und in Klasse III bei 4,4 mm.

Theusner et al. (1993) registrierten kondyläre Bewegungen bei 49 symptomatischen und symptomfreien Probanden. Für die symptomfreie Gruppe war der Bewegungsspielraum für maximale Mundöffnung homogener als für die symptomatische Gruppe.

Um Kiefergelenksfunktionen zu evaluieren ist es notwendig, kondyläre Bewegungsspuren in allen Raumebenen zu beurteilen und diese mit normativen Referenzen zu vergleichen, als beispielsweise nur die maximale Mundöffnungskapazität zu messen (Travers et al. 2000).

### **5.3.5. Kondylenbahnneigungswinkel**

Der Kondylenbahnneigungswinkel liegt nach 3 mm Protrusion in der Kindergruppe auf der rechten Seite bei  $36,5^{\circ} \pm 10,2^{\circ}$  und links bei  $36,2^{\circ} \pm 10,8^{\circ}$ , nach 5 mm Protrusion rechts liegt er bei  $34,3^{\circ} \pm 8,1^{\circ}$  und links bei  $34,0^{\circ} \pm 8,6^{\circ}$ . In der Erwachsenenengruppe zeigt sich der Kondylenbahnneigungswinkel nach 3 mm Protrusion rechts mit  $45,9^{\circ} \pm 11,7^{\circ}$  und links mit  $46,9^{\circ} \pm 10,9^{\circ}$ . Nach 5 mm Protrusion befindet er sich rechts bei  $43,3^{\circ} \pm 10,5^{\circ}$  und links bei  $44,5^{\circ} \pm 10,0^{\circ}$ . Der Kondylenbahnneigungswinkel zeigt hier bei Klasse I in der Kindergruppe sowohl nach 3 mm, als auch nach 5 mm Protrusion die größten Werte. Ebenso in der Erwachsenenengruppe hat hier Klasse I die größten Werte sowohl nach 3 mm, als auch nach 5 mm Protrusion auf beiden Seiten.

Die Untersuchung von Anders et al. (2000) an 28 unbehandelten Klasse II/2 Patienten im Alter von 8 bis 12 Jahren befasst sich mit den funktionellen Anpassungen des Kiefergelenks

an die retrudierten Schneidezähne des Oberkiefers. Im Vergleich mit den eugnathen Probanden zeigte sich eine erhöhte Mobilität bei mandibulärer Protrusion und eine etwas steilere Kondylenbahnneigung, wobei letztere etwas weniger ausgeprägt war, als bei den erwachsenen Probanden. Diese Ergebnisse korrelieren nicht in allen Punkten mit der vorliegenden Arbeit. Es zeigt sich in unseren Ergebnissen ebenso eine höhere Mobilität bei mandibulären Bewegungen (maximale Mundöffnung, Kondylenbahnlänge, Retrusion und Laterotrusion) bei Klasse II/2 Patienten. Der Kondylenbahnneigungswinkel der Klasse II/2 der Kindergruppe ist nicht größer bzw. steiler als in Klasse I. Die Klasse I zeigte hier sowohl nach 3 mm, als auch nach 5 mm Protrusion die größeren Werte. Dieser Unterschied kann durch die differente Altersstruktur begründet werden. In der vorliegenden Studie wurden Kinder von 7,2 bis 10,6 Jahren untersucht. Das ergibt ein durchschnittliches Alter von 8,8 Jahren. Das Durchschnittsalter in der Untersuchung von Anders et al. (2000) lag bei 10,7 Jahren. Um die Beeinflussung der Frontzahnführung auf die Gelenkbewegung zu eliminieren, wurden alle Messungen bei Anders et al. (2000) ohne inzisale Führung absolviert, während in der vorliegenden Arbeit alle Bewegungen unter dentaler Führung durchgeführt werden sollten.

Baqaien (2006) untersuchte den Kondylenbahnneigungswinkel bei Kindern im Alter von 6,5 bis 13 Jahren und verglich diesen mit den Ergebnissen einer Erwachsenenkontrollgruppe. In der Kindergruppe wurde für die rechte Seite nach 3 mm Protrusion  $50,2^\circ$  und nach 5 mm Protrusion  $46,5^\circ$  registriert. Für die linke Seite wurden  $49,5^\circ$  und  $46^\circ$  gemessen. In der Erwachsenengruppe wurden für die rechte Seite Durchschnittswerte von  $63,5^\circ$  nach 3 mm Protrusion und  $59,1^\circ$  nach 5 mm ermittelt. Die linke Seite zeigte  $62,1^\circ$  und  $57,7^\circ$ .

Ähnliche Ergebnisse erzielten Reicheneder et al. (2009). In der Kindergruppe wurde  $36,7^\circ$  und  $34,6^\circ$  nach 3 mm und 5 mm Protrusion auf der rechten Seite gemessen. Links wurden  $36,3^\circ$  und  $34,4^\circ$  festgestellt. Bei den Erwachsenen zeigten sich rechts  $49,6^\circ$  und  $47,4^\circ$  rechts und für die linke Seite  $49,5^\circ$  und  $47,6^\circ$ .

### **5.3.6. Bennett-Winkel**

In der Kindergruppe liegt der Bennett-Winkel nach 3 mm Mediotrusion des rechten Kiefergelenks bei  $11,6^\circ \pm 5,6^\circ$  und beim linken Kiefergelenk bei  $10,8^\circ \pm 5,4^\circ$ . Nach 5 mm Mediotrusion des rechten Kiefergelenks liegt er bei  $9,2^\circ \pm 3,9^\circ$  und links bei  $8,4^\circ \pm 4,2^\circ$ .



Bei den Erwachsenen beträgt der Bennett-Winkel nach 3 mm Mediotrusion des rechten Kiefergelenks  $15,6^\circ \pm 7,2^\circ$  und links  $15,1^\circ \pm 6,3^\circ$ . Nach 5 mm Mediotrusion des rechten Kiefergelenks liegt der Wert bei  $13,2^\circ \pm 6,2^\circ$  und der des linken Kiefergelenks bei  $12,9^\circ \pm 6,1^\circ$ . Der Bennett-Winkel ist für alle vier Angle-Klassen bei den Kindern annähernd gleich. Keine der Angle-Klassen zeigt hier besonders auffallende Werte. In der Erwachsenenengruppe zeigt Klasse II/2 den kleinsten Bennett-Winkel im Vergleich zu Klasse I und Klasse III. Die größten Bennett-Winkel bei den Erwachsenen zeigt Klasse I, sowohl nach 3 mm, als auch nach 5 mm Mediotrusion des rechten und des linken Kiefergelenks.

Der Bennett-Winkel ist derzeit wenig untersucht, wie das Schrifttum zeigt. Zijnenburg et al. (1996) stellten fest, dass die kondylären Bewegungsspuren und Winkel stark von der Wahl der Referenzpunkte des entsprechenden Messsystems abhängen. Die genannten Autoren untersuchten 20 gesunde Probanden mit einer Klasse I Okklusion. Die Messungen wurden mit dem OKAS 3-D System durchgeführt. Als Referenzpunkte wurden der rechts und links auf der Haut palpierbare Kondylenpunkt benutzt. Die gemessenen Durchschnittswerte für den Bennett-Winkel lagen bei  $7,2^\circ \pm 3,5^\circ$  rechts und  $9,1^\circ \pm 4,5^\circ$  links. Diese gemessenen Werte stehen nicht in Einklang mit unseren Ergebnissen. In der vorliegenden Studie wurden andere Referenzpunkte gewählt. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass nur Ergebnisse unterschiedlicher Studien verglichen werden sollten, wenn mit denselben Referenzpunkten gemessen wurde.

Wessling (2003) beschäftigte sich mit dem JMA-System und fand Werte, welche zwischen denen der Kindergruppe und denen der Erwachsenenengruppe der vorliegenden Arbeit liegen. Der Durchschnittswert für den Bennett-Winkel rechts lag bei  $12,4^\circ \pm 5,3^\circ$  und links bei  $11,7^\circ \pm 6,8^\circ$ .

In der Studie von Baqaein (2006) wurde die kinematische Achse verwendet. In der Kindergruppe wurde für den rechten Condylus nach 3 mm Mediotrusion  $11,2^\circ$  und für den linken  $10,8^\circ$  gemessen. Nach 5 mm Mediotrusion wurde rechts und links  $10,0^\circ$  festgestellt. In der Erwachsenenengruppe wurde nach 3 mm Mediotrusion rechts  $11,6^\circ$  und links  $12,0^\circ$  gemessen. Nach 5 mm Mediotrusion wurde rechts ein Bennett-Winkel von  $11,0^\circ$  und links von  $10,2^\circ$  erhalten.

### **5.3.7. Angle-Klassen**

#### **5.3.7.1. Angle-Klasse I**

Innerhalb der Angle-Klassen hat Klasse I die größten Differenzen in den Bewegungsausmaßen beim Vergleich der Kinder- und der Erwachsenengruppe. Die Angle-Klasse I in der Kindergruppe zeigt bei der Kondylenbahnlänge, der Retrusion und der Laterotrusion jeweils auf der rechten und linken Seite im Vergleich der Angle-Klassen die kleinsten ermittelten Durchschnittswerte. Nur bei der inzisal gemessenen Mundöffnung liegt sie im mittleren Bereich der erhaltenen Durchschnittswerte. In der Erwachsenengruppe befanden sich die gemessenen Durchschnittswerte der Klasse I stark im Mittelbereich der gemessenen Werte aller Angle-Klassen. Lediglich bei der Laterotrusion nach rechts zeigt Klasse I den kleinsten gemessenen Durchschnittswert. Beim Kondylenbahnneigungswinkel hingegen hatte die Angle-Klasse I in der Kindergruppe sowohl nach 3 mm, als auch nach 5 mm Protrusion die größten Werte. Auch in der Erwachsenengruppe hat Klasse I die größten Werte sowohl nach 3 mm, als auch nach 5 mm Protrusion auf beiden Seiten.

Die Untersuchung von Anders et al. (2000) an 28 unbehandelten Klasse II/2 Patienten im Alter von 8 bis 12 Jahren befasst sich mit den funktionellen Anpassungen des Kiefergelenks an die retrudierten Schneidezähne des Oberkiefers. Im Vergleich mit eugathen Probanden zeigte sich eine erhöhte Mobilität bei mandibulärer Protrusion und eine etwas steilere Kondylenbahnneigung, wobei letztere etwas weniger ausgeprägt war als bei den erwachsenen Patienten. Diese Ergebnisse korrelieren nicht in allen Punkten mit unseren Untersuchungsergebnissen. Wir fanden ebenso eine höhere Mobilität bei mandibulären Bewegungen (maximale Mundöffnung, Kondylenbahnlänge, Retrusion und Laterotrusion) bei Klasse II/2 Patienten. Der Kondylenbahnneigungswinkel der Klasse II/2 der Kindergruppe ist nicht größer bzw. steiler als in Klasse I. Die Klasse I zeigte hier sowohl nach 3 mm, als auch nach 5 mm Protrusion die größeren Werte. Dieser Unterschied kann durch die unterschiedliche Altersstruktur begründet werden. In der vorliegenden Studie wurden Kinder von 7,2 bis 10,6 Jahren untersucht. Das Durchschnittsalter war somit 8,8 Jahre, in der Untersuchung von Anders et al. (2000) lag es bei 10,7 Jahren. Um die nicht unwesentliche Beeinflussung der Frontzahnführung auf die Gelenkbewegung zu eliminieren, wurden alle Messungen bei oben genannten Autoren ohne inzisale Führung durchgeführt, während in der vorliegenden Arbeit alle Bewegungen unter dentaler Führung analysiert werden sollten. Bei der Betrachtung des Bennett-Winkels zeigt Klasse I in der Kindergruppe nur auf der rechten

Seite bei 3 mm Mediotrusion die größten Werte im Vergleich zu den anderen Angle-Klassen. In der Erwachsenenengruppe fanden wir bei Klasse I hingegen sowohl nach 3 mm, als auch nach 5 mm Mediotrusion auf beiden Seiten jeweils die größten Werte im Vergleich der Angle-Klassen.

#### **5.3.7.2. Angle-Klasse II/1**

Die Angle-Klasse II/1 kam in der Erwachsenenengruppe nicht vor, in der Kindergruppe lag ihr relativer Anteil bei 7,6% (n=7). Klasse II/1 zeigte in der Kindergruppe bei der maximalen Mundöffnung und beim Bennett-Winkel nach 3 sowie nach 5 mm Mediotrusion auf jeweils beiden Seiten die geringsten gemessenen Durchschnittswerte. Bei der Laterotrusion nach rechts und links bildet Klasse II/1 die größten gemessenen Durchschnittswerte.

#### **5.3.7.3. Angle-Klasse II/2**

In unserer Studie zeigen die Messwerte der Kindergruppe, dass die Kondylenbahnlänge der Klasse II/2-Gruppe die größten Werte annimmt. In der Erwachsenenengruppe zeigt Klasse II/2 eine gegensätzliche Tendenz; hier hat die Kondylenbahnlänge der Klasse II/2 den geringsten Wert im Vergleich aller Angle-Klassen. Die Angle Klassen II/2 und III zeigen bei der Retrusion in der Kindergruppe die größten Werte. In der Erwachsenenengruppe fanden wir sehr unterschiedliche Tendenzen zu den maximalen Bewegungsausmaßen bezüglich der Angle-Klassen. Die Klasse II/2 nimmt hier in maximaler Retrusion die kleinsten Werte an. Unter Betrachtung der verschiedenen Angle-Klassen hat die vorliegende Studie bei Kindern mit einer Klasse II/2 Konfiguration größere Bewegungsausmaße der Kiefergelenksbewegungen als bei Gleichaltrigen mit einer Klasse I, Klasse II/1 oder Klasse III.

Zimmer et al. (1991) untersuchten 75 kieferorthopädisch unbehandelte junge Erwachsene, die klinisch gesund waren oder nur geringe Symptome einer Kiefergelenkdysfunktion aufwiesen. Diese wurden in Gruppen nach ihrer sagittalen Molaren-Verzahnung in Klasse I, Klasse II oder Klasse III eingeteilt. Die Ergebnisse zeigten, dass bei der Pro- und Mediotrusion die mandibuläre Bewegungskapazität in der Klasse II-Gruppe größer war als in der Klasse I-Gruppe, und in der Klasse I-Gruppe größer als in der Klasse III-Gruppe. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit einer Studie von Ingervall (1970), welcher ebenso eine Korrelation

zwischen der mandibulären Bewegungskapazität und der sagittalen skelettalen Beziehung bei Kindern fand, jedoch keine Korrelation bei Erwachsenen (Ingervall, 1971).

In unserer Studie zeigen die Aufnahmen der Kindergruppe, dass bei maximaler Mundöffnung die Klasse II/2-Gruppe die größten Werte vorhanden sind, dann Klasse II/1, Klasse III und Klasse I. Bei der Laterotrusion zeigen Klasse II/1 und Klasse II/2 die größten Werte für beide Seiten. In der Erwachsenengruppe fanden wir teilweise eine entgegengesetzte Tendenz. Hier hat Klasse II/2 weiterhin die größten Werte bei der Laterotrusion rechts und links, aber die kleinsten Werte beim Vergleich der Angle-Klassen bezüglich der maximalen Mundöffnung. Die Klasse III brachte hier die größten Werte. Die vorliegende Arbeit zeigt, dass das inzisale Bewegungsausmaß während maximaler Mundöffnung mit dem kondylären Bewegungsausmaß korreliert. In der Klasse II/2 der Kindergruppe beobachteten wir die maximale mittlere Mundöffnungskapazität aller Angle-Klassen mit 48,1 mm. Korrespondierend finden wir die größten Messwerte bei der Kondylenbahnlänge rechts mit 17,8 mm und links bei 18,4 mm ebenfalls bei Klasse II/2.

Die Untersuchung von Anders et al. (2000) an 28 unbehandelten Klasse II/2 Patienten im Alter von 8 bis 12 Jahren befasst sich mit den funktionellen Anpassungen des Kiefergelenks an die retrudierten Schneidezähne des Oberkiefers. Im Vergleich mit eugnathe Altersgenossen zeigte sich eine erhöhte Mobilität bei mandibulärer Protrusion sowie eine etwas steilere Kondylenbahnneigung, wobei letztere etwas weniger ausgeprägt war als bei erwachsenen Probanden. Diese Ergebnisse korrelieren nicht in allen Punkten mit der vorliegenden Untersuchung. Es zeigt sich bei der vorliegenden Arbeit ebenso eine höhere Mobilität bei mandibulären Bewegungen (maximale Mundöffnung, Kondylenbahnlänge, Retrusion und Laterotrusion) bei Klasse II/2 Patienten. Der Kondylenbahnneigungswinkel der Klasse II/2 der Kindergruppe ist nicht größer bzw. steiler als in Klasse I. Die Klasse I hatte hier sowohl nach 3 mm, als auch nach 5 mm Protrusion die größeren Werte. Dieser Unterschied kann durch die unterschiedliche Altersstruktur begründet werden. In unserer Studie wurden Kinder von 7,2 bis 10,6 Jahren untersucht. Das ergibt ein durchschnittliches Alter von 8,8 Jahren. Das Durchschnittsalter in der Untersuchung von Anders et al. (2000) lag bei 10,7 Jahren. Um die nicht unwesentliche Beeinflussung der Frontzahnführung auf die Gelenkbewegung zu eliminieren, wurden alle Messungen bei Anders et al. (2000) ohne inzisale Führung durchgeführt, während in der vorliegenden Arbeit alle Bewegungen unter dentaler Führung durchgeführt werden sollten. Klasse II/2 zeigt die geringsten Unterschiede innerhalb einer Klasse. In dieser Klasse liegen die Werte der Kinder- und der

Erwachsenengruppe annähernd im selben Bereich. In der Erwachsenenengruppe zeigt Klasse II/2 den kleinsten Bennett-Winkel im Vergleich zu Klasse I und Klasse III.

#### **5.3.7.4. Angle-Klasse III**

Die Klassen III und II/2 zeigen bei der Bewegungsspur der Retrusion in der Kindergruppe die größten Werte. In der Erwachsenenengruppe haben wir sehr unterschiedliche Tendenzen zu den maximalen Bewegungsausmaßen bezüglich der Angle-Klassen. Die höchsten Werte hat hier Klasse III bei den Erwachsenen. Klasse II/2 nimmt in maximaler Retrusion die kleinsten Werte an. In der Erwachsenenengruppe nimmt Klasse III bei der Kondylenbahnlänge rechts und links und bei der maximalen Mundöffnung im Vergleich der Angle-Klassen die größten Durchschnittswerte an. Bei der Laterotrusion nach links fanden wir bei Klasse III die kleinsten Durchschnittswerte. Beim Kondylenbahnneigungswinkel bringt Klasse III in der Kindergruppe nach 3 mm Protrusion rechts und nach 5 mm Protrusion rechts und links die kleinsten gemessenen Durchschnittswerte. Beim Bennett-Winkel sind die Durchschnittswerte nach 5 mm Mediotrusion rechts und links bei der Klasse III am größten.

## 6. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Studie war es, die kinematischen Variablen des Unterkiefers und der Kiefergelenke von Kindern im Vergleich zu Erwachsenen zu untersuchen. Eine weitere Aufgabe lag darin, die funktionellen Zusammenhänge der kinematischen Variablen des Unterkiefers und der Kiefergelenke mit der entsprechenden Angle-Klasse der Patienten zu analysieren.

Zu diesem Zweck wurde eine axiographische Registrierung an 92 Kindern im Alter von 7,2 bis 10,6 Jahren (Kindergruppe GR1) und 20 Erwachsenen im Alter von 18 bis 34,7 Jahren (Erwachsenengruppe GR2) durchgeführt. Zum Einsatz kam hierbei das Jaw Motion Analyzer (JMA-) System, welches bereits von anderen Autoren hinsichtlich seiner Genauigkeit und Zuverlässigkeit überprüft wurde.

Die statistische Analyse der Ergebnisse erfolgte mit dem Programm SPSS für Windows. Die Verteilung der Untersuchungsvariablen wurde deskriptiv anhand der Parameter Mittelwert, Median, Standardabweichung, Minimum und Maximum getrennt nach Angle-Klassen dargestellt. Die Auswertung erfolgte jeweils einmal für sämtliche Patienten (Kinder und Erwachsene) zusammen, weiterhin getrennt für Kinder und Erwachsene. Außerdem wurden die Daten mit Hilfe von Einweg-Varianzanalysen (ANOVA) ausgewertet, wobei die Angle-Klasse als unabhängige Variable (Faktor zur Gruppenbildung), die Untersuchungsvariablen als Abhängige eingingen. Die Signifikanzberechnung erfolgt dabei über die F-Verteilung, F-Werte mit  $p < 0,05$  sind signifikant unterschiedlich. Um das Signifikanzniveau für die Anzahl der abhängigen statistischen Tests zu korrigieren, wurde die Signifikanzschwelle nach Bonferroni auf  $p \leq 0,005$  angepasst.

Als Bezugsebene unserer Untersuchungen wurde die arbiträre Achs-Orbital-Ebene gewählt, welche in vorherigen Studien geprüft wurde. Die arbiträre Achse wurde durch den Oberrand des Tragus auf der linken und rechten Seite in der Analyse-Software definiert. Wir wählten die arbiträre Achse. Diese kann einfach und schnell bestimmt werden. Die Bissgabel wurde auf den Labialflächen der Unterkieferfrontzähne befestigt. Das Befestigungskomposite sollte die maximale Interkuspidation nicht stören, um die Bewegungen des Unterkiefers nicht zu beeinflussen. Die durchgeführten Bewegungen waren maximale Mundöffnung, maximale Protrusion, maximale Laterotrusion nach rechts und links, Posselt frontal und Posselt sagittal. Jede Bewegung wurde zweimal wiederholt, um die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen. Die Patienten befanden sich in einer aufrechten und entspannten

Sitzposition. Jede Bewegung sollte in maximaler Interkuspidation beginnen und enden, ferner sollten die Patienten jede Bewegung zahngeführt und ohne Manipulation durchführen.

Folgende Untersuchungsergebnisse wurden erzielt:

- Die Ergebnisse der vorliegenden Studie unterstützen die Annahme, dass Kinder im frühen Schulalter noch nicht die maximale Mundöffnungskapazität Erwachsener erreicht haben.
- Die Laterotrusion nach rechts zeigte einen signifikanten Unterschied innerhalb der Angle-Klassen bei Betrachtung der Erwachsenenengruppe und der Kindergruppe gemeinsam (nicht signifikant nach Bonferroni-Korrektur).
- Die Laterotrusion nach links zeigte einen signifikanten Unterschied innerhalb der Angle-Klassen bei Betrachtung der Erwachsenenengruppe und der Kindergruppe gemeinsam (nicht signifikant nach Bonferroni-Korrektur).
- Innerhalb der Kindergruppe fanden wir keine signifikanten Unterschiede in den kinematischen Variablen bei Betrachtung der verschiedenen Angle-Klassen.
- Innerhalb der Erwachsenenengruppe zeigte die Laterotrusion nach rechts einen signifikanten Unterschied innerhalb der Angle-Klassen (nicht signifikant nach Bonferroni-Korrektur).
- Innerhalb der Erwachsenenengruppe hatte die maximale Mundöffnung inzisal gemessen einen signifikanten Unterschied innerhalb der Angle-Klassen (nicht signifikant nach Bonferroni-Korrektur).

Die vorliegende Arbeit ist eine Art Pilotstudie. Weiterführende Untersuchungen sollten durchgeführt werden, um die vorliegenden Ergebnisse auszubauen und zu spezifizieren.

## 7. Literaturverzeichnis

- Al-Hiyasat, A. S., Abu-Alhaija, E. S. J., 2004. The relationship between static and dynamic occlusion in 14-17-year-old school children. *J. Oral Rehabil.* 31, 628-633.
- Anders, C., Harzer, W., Eckardt, L., 2000. Axiographische Untersuchung von Kindern mit einer Angle-Klasse II/2 (Deckbiß) hinsichtlich ihrer Unterkiefermobilität. *Fortschr. Kieferorthop.* 61, 45- 53.
- Baragar, F. A., Osborn, J. W., 1984. A model relating patterns of human jaw movement to biomechanical constraints. *J. Biomech.* 17, 757-767.
- Baumrind, S., Ben-Bassat, Y., Korn, E. L., Bravo, L. A., Curry, S., 1992. Mandibular remodeling measured on cephalograms. 1. Osseous changes relative to superimposition on metallic implants. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 102, 134-142.
- Baqaien, M. A., Al-Salti, F. M., Müssig, D., 2007. Changes in condylar path inclination during maximum protrusion between the ages of 6 and 12 years. *J. Oral Rehabil.* 34, 27-33.
- Baqaien, M. A., Barra, J., Müssig, D., 2009. Computerized axiographic evaluation of the changes in sagittal condylar path inclination with dental and physical development. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 135, 88-94.
- Baqaien, M. A., 2006. Growth related changes in the functional analytic parameters of the temporomandibular joint in children between 6 and 12 years old of age. *Med. dent. Diss., Univ. Regensburg.*
- Bernhardt, O., Küppers, N., Rosin, M., Meyer, G., 2003. Comparative tests of arbitrary and kinematic transverse horizontal axis recordings of mandibular movements. *J. Prosthet. Dent.* 89, 175-179.
- Bland, J. M., Altman, D. G., 1995. Multiple significance tests: the Bonferroni method. *Br. med. J.* 310, 170.



- Bumann, A., Landeweer, G. G., Brauckmann, P., 1991. The significance of the fissurae petrotympanica, petrossquaamosa and tympanosquaamosa for disc displacements in the temporomandibular joint. *Fortschr. Kieferorthop.* 52, 359-365.
- Buschang, P. H., Santos-Pinto, A., Demirjian, A., 1999. Incremental growth charts for condylar growth between 6 and 16 years of age. *Eur. J. Orthod.* 21, 167-173.
- Buschang, P. H., Throckmorton, G. S., Travers, K. H., Hayasaki, H., 2001. Incisor and mandibular condylar movements of young adult females during maximum protrusion and laterotrusion of the jaw. *Arch. Oral Biol.* 46, 39-48.
- Carlsson, G. E., Öberg, T., 1974. Remodelling of the temporomandibular joints. *Oral Sciences Rev.* 6, 53-86.
- Ćatić, A., Naeije, M., 1999. Location of the hinge axis and the kinematic center in asymptomatic and clicking temporomandibular joints. *J. Oral Rehabil.* 26, 661-665.
- Celar, A. G., Tamaki, K., 2002. Accuracy of recording horizontal condylar inclination and Bennett angle with the cadiax compact. *J. Oral Rehabil.* 29, 1076-1081.
- Clark, G. T., Lynn, P., 1986. Horizontal plane jaw movements in controls and clinic patients with temporomandibular dysfunction. *J. Prosthet. Dent.* 55, 730-735.
- Davies, S., Gray, R. M. J., 2001. What is occlusion? *Brit. Dent. J.* 191, 235-245.
- Denar Corp., 1966. Gnathological instruments. Procedure manual. Anaheim, Ca.
- Dibbets, J. M. H., van der Weele, L. T., 1991. Flattened condylar projection in children: reflection of seasonal growth?. *Eur. J. Orth.* 13, 161-165.
- Diedrich, P., München: Kieferorthopädie I. Orofaziale Entwicklung und Diagnostik. Urban und Fischer.

- Dijkstra, P. U., De Bont, L. G. M., Stegenga, B., Boering, G., 1995. Temporomandibular joint mobility assessment: a comparison between four methods. *J. Oral Rehabil.* 22, 439-444.
- Donaldson, K., Clayton, J. A., 1986. Comparison of mandibular movements recorded by two pantographs. *J. Prosthet. Dent.* 55, 52-58.
- Fanghänel, J., Pera, F., Anderhuber, F., Nitsch, R., 2003. Hrsg. Waldeyer. *Anatomie des Menschen.* 17. Aufl., W. de Gruyter, Berlin, New York, 222.
- Fanghänel, J., Gedrange, T., Proff, P., 2006. The face-physiognomic expressiveness and human identity. *Ann. Anat.* 188, 261-266.
- Fanghänel, J., Gedrange, T., 2007. On the development, morphology and function of the temporomandibular joint in the light of the orofacial system. *Ann. Anat.* 189, 314-319.
- Furstman, L., 1963. The early development of the human temporomandibular joint. *Am. J. Orthod.* 49, 672-682.
- Furstman, L., 1980. The temporomandibular joint. Embryology. In: Sarnat, B. S., Laskin, D. M., Eds. Thomas, Springfield (Ill).
- Galante, G., Paesani, D., Tallents, R. H., Hatala, M. A., Katzberg, R. W., Murphy, W., 1995. Angle of the articular eminence in patients with temporomandibular joint dysfunction and asymptomatic volunteers. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* 80, 242-249.
- Garnick, J., Ramfjord, S. P., 1962. Rest position. An electromyographic and clinical investigation. *J. Prosthet. Dent.* 12, 895-911.
- Gedrange, T., Winnefeld, K., Hietschold, V., Schubert, H., Harzer, W., 2000. MRI and biochemical investigation of the temporomandibular joint of juvenile pigs after sagittal advancement of the mandible. *J. Exp. Anim. Sci.* 41, 168-175.

- Gedrange, T., Mai, R., Richter, G., Wolf, P., Lupp, A., Harzer, W., 2005. X-ray microanalysis of elements in the masticatory muscle after paresis of the right masseter. *J. Dent. Res.* 84, 1026-1030.
- Gedrange, T., Büttner, C., Schneider, M., Lauer, G., Mai, R., Oppitz, R., Harzer, W., 2006. Change of mRNA amount of myosin heavy chain in masseter muscle after orthognathic surgery of patients with malocclusion. *J. Cranio-Maxillofac. Surg.* 34, 110-115.
- Gsellmann, B., Schmid-Schwap, M., Piehslinger, E., Slavicek, R., 1998. Lengths of condylar pathways measured with computerized axiography (CADIAX®) and occlusal index in patients and volunteers. *J. Oral Rehabil.* 25, 146-152.
- Gysi, A., 1910. The problem of articulation. *Dent. Cosmos* 52, 1-5.
- Hinton, R. J., 1981. Changes in the articular eminence morphology with dental funtion. *Am. J. Phys. Anthropol.* 54, 439-455.
- Hirata, F. H., Guimarães, A. S., de Oliveira, J. X., Moreira, C. R., Ferreira, E. T. T., Cavalcanti, M. G. P., 2007. Evaluation of TMJ articular eminence morphology and disc patterns in patients with disc displacement in MRI. *Braz. Oral Res.* 21, 265-271.
- Hirsch, C., John, M. T., Lautenschläger, C., List, T., 2006. Mandibular jaw movement capacity in 10-17-yr-old children and adolescents: normative values and the influence of gender, age and temporomandibular disorders. *Eur. J. Oral Sci.* 114, 465-470.
- Hützen, D., Proff, P., Gedrange, T., Biffar, R., Bernhard, O., Kocher, T., Kordass, B., 2007. Occlusal contact patterns-population-based data. *Ann. Anat.* 189, 407-411.
- Hugger, A., Bölöni, E., Berntien, U., Stüttgen, U., 2001. Accuracy of an ultrasonic measurement system for jaw movement recording (Abstract 202). *J. Dent. Res.* 80, 1226.

- Ingervall, B., 1970. Range of movement of the mandible in children. *Scand. J. Dent. Res.* 78, 311-322.
- Ingervall, B., 1971. Variation of the range of movement of the mandible in relation to facial morphology in young adults. *Scand. J. Dent. Res.* 79, 133-140.
- Johansson, A., Unell, L., Carlsson, G. E., Söderfeldt, B., Halling, A., 2003. Gender difference in symptoms related to temporomandibular disorders in a population of 50-year-old subjects. *J. Orofac. Pain* 17, 29-35.
- Karlo, C. A., Stolzmann, P., Habernig, S., Müller, L., Saurenmann, T., Kellenberger, C., J., 2010. Size, shape and age-related changes of the mandibular condyle during childhood. *Eur. Radiol.* 20, 2512-2517.
- Katsavrias, E. G., 2006. Morphology of the temporomandibular joint in subjects with class II Division 2 malocclusions. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 129, 470-478.
- Katzberg, R. W., 1989. Temporomandibular joint imaging: state of the art. *Radiology* 170, 297-307.
- Kohno, S., Nakano, M., 1987. The measurement and development of anterior guidance. *J. Prost. Dent.* 57, 620-625.
- Kordass, B., Lucas, C., Hützen, D., Zimmermann, C., Gedrange, T., Langner, S., Domin, M., Hosten, H., 2007. Functional magnetic resonance imaging of brain activity during chewing and occlusion by natural teeth and occlusal splints. *Ann. Anat.* 189, 371-376.
- Kubein-Meesenburg, D., Fanghänel, J., Ihlow, D., Lotzmann, U., Hahn, W., Thieme, K. M., Proff, P., Gedrange, T., Nagerl, H., 2007. Functional state of the mandible and rolling-gliding characteristics in the TMJ. *Ann. Anat.* 189, 393-396.
- Kucukkeles, N., Ozkan, H., Ari-Demirkaya, A., Cilingirturk, A. M., 2005. Compatibility of mechanical and computerized axiographs: a pilot study. *J. Prosthet. Dent.* 94, 190-194.

- Kurita, H., Ohtsuka, A., Kobayashi, H., Kurashina, K., 2000. Flattening of the articular eminence correlates with progressive internal derangement of the temporomandibular joint. *Dentomaxillofac. Radiol.* 29, 277-279.
- Lautenbach, E., 1992. *Wörterbuch Zahnmedizin*, Verlag für Zahnmedizin Werner Dausien.
- Lee, S. K., Kim, Y. S., Oh, H. S., Yang, K. H., Kim, E. C, Chi, J. G., 2001. Prenatal development of the human mandible. *Anat. Rec.* 263, 314-325.
- Lehmann, K. M., Hellwig, E., 2002. *Zahnärztliche Propädeutik*, 9. Aufl., Urban und Fischer, München.
- Manfredini, D., Lombardo, L., Siciliani, G., 2017. Dental Angle class asymmetry and temporomandibular disorders. *Fortschr. Kieferorthop.* 78, 253-258.
- Mc Collum, B. B., Stuart, C. E., 1955. *Gnathology. A research report*. South Pasadena, Ca.: Scientific Press.
- Meng, F., Liu, Y., Hu, K., Zhao, Y., Kong, L., Zhou, S., 2008. A comparative study of the skeletal morphology of the temporomandibular joint of children and adults. *J. Postgrad. Med.* 54, 191-194.
- Moffett, B. C., 1966. The morphogenesis of the temporomandibular joint. *Am. J. Orthod.* 52, 401-415.
- Murakami, S., Takahashi, A., Nishiyama, H., Fujishita, M., Fuchihata, H., 1993. Magnetic resonance evaluation of the temporomandibular joint disc position and configuration. *Dentomaxillofac. Radiol.* 22, 205-207.
- Nishijima, N., Hayasaki, H., Okamoto, A., Nakata, S., Yamasaki, Y., 2000. Difference in tracks between habitual open and close mandibular movements at the condyle in children. *J. Oral Rehabil.* 27, 999-1003.

- Ögütçen-Toller, M., Juniper, R. P., 1993. The embryologic development of the human lateral pterygoid muscle and its relationships with the temporomandibular joint disc and Meckel's cartilage. *J. Oral Maxil. Surg.* 51, 772-778.
- Osborn, J. W., 1989. The temporomandibular ligament and the articular eminence as constraints during jaw opening. *J. Oral Rehabil.* 16, 323-333.
- Parnia, F., Fard, E. M., Sadr, K., Motiaghney, N., 2008. Pattern of occlusal contacts in eccentric mandibular positions in dental students. *JODDD* 2, 85-88.
- Pow, E. H., Leung, K. C., Mc Millan, A. S., 2002. Prevalence of symptoms associated with temporomandibular disorders in Hong Kong Chinese. *J. Orofac. Pain* 15, 228-234.
- Proff, P., Gedrange, T., Franke, R., Schubert, H., Fanghänel, J., Mieke, B., Harzer, W., 2007a. Histological and histomorphometric investigation of the condylar cartilage of juvenile pigs after anterior mandibular displacement. *Ann. Anat.* 189, 269-275.
- Proff, P., Richter, E. J., Blens, T., Fanghänel, J., Hützen, D., Kordass, B., Gedrange, T., Rottner, K., 2007b. A Michigan-type occlusal splint with spring-loaded mandibular protrusion functionality for treatment of anterior disk dislocation with reduction. *Ann. Anat.* 189, 362-366.
- Pullinger, A. G., Seligman, D. A., Gornbein, J. A., 1993. A multiple logistic regression analysis of the risk and relative odds of temporomandibular disorders as a function of common occlusal features. *J. Dent. Res.* 72: 968-979.
- Purcell, P., Joo, B. W., Hu, J. K., Tran, P. V., Calicchio, M. L., O'Connell, D. J., Maas, R. L., Tabina, C. J., 2009. Temporomandibular joint formation requires two distinct hedgehog-dependent steps. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)* 106, 18297-18302.
- Radlanski, R. J., Lieck, S., Bontschev, N. E., 1999. Development of the human temporomandibular joint. Computer-aided 3D-reconstructions. *Eur. J. Oral Sci.* 107, 25-34.

- Radlanski, R. J., Renz, H., 2010. Focus. An Atlas of prenatal development of the human orofacial region. *Eur. J. Oral Sci.* 118, 321-324.
- Reiber, Th., Dickbertel, J., 1988. Zur Lage der Scharnierachsenpunkte. *Dtsch. Zahnärztl. Z.* 43, 194-198.
- Reicheneder, C. A., Gedrange, T., Baumert, U., Faltermeier, A., Proff, P., 2009. Variations in the inclination of the condylar path in children and adults. *Angle Orthod.* 79, 958-963.
- Reicheneder, C. A., Proff, P., Baumert, U., Gedrange, T., 2008. Comparison of maximum mouth-opening capacity and condylar path length in adults and children during the growth period. *Ann. Anat.* 190, 344-350.
- Reicheneder, C. A., Proff, P., Baumert, U., Gedrange, T., 2009. Growth-related differences in maximum laterotrusion and retrusion between children and adults. *Angle Orthod.* 79, 265-270.
- Rieder, C. E., 1978. Maximum mandibular opening in patients with and without a history of TMJ dysfunction. *J. Prosthet. Dent.* 39, 441-446.
- Rosenbaum, M., 1975. The feasibility of a screening procedure regarding temporomandibular joint dysfunction. *Oral Surg.* 39, 382-389.
- Rottner, K., Richter, E. J., Fanghänel, J., Gedrange, T., Kubein-Meesenburg, D., Nagerl, H., Proff, P., 2007. Effects of centric relation prematurities of the frontal teeth. *Ann. Anat.* 189, 397-403.
- Sato, S., Kawamura, H., Motegi, K., Takahashi, K., 1996. Morphology of the mandibular fossa and the articular eminence in temporomandibular joints with anterior disc displacement. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 25, 236-238.
- Sato, S., Sakamoto, M., Kawamura, H., Motegi, K., 1999. Long-term changes in clinical signs and symptoms and disc position and morphology in patients with nonreducing disc displacement in the temporomandibular joint. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 57, 23-29.

- Schopf, P., 2008. Kieferorthopädie. Bd. 1. 4. Aufl. Quintessenz Verlag GmbH.
- Schumacher, G.-H., 1997. Anatomie für Zahnmediziner. 3. Aufl. Hüthig, GmbH, Heidelberg.
- Sheppard, I., Sheppard, S., 1965. Maximum incisal opening – a diagnostic index? J. Dent. Med. 20, 13-5.
- Slavicek, R., 1988. Clinical and instrumental functional analysis for diagnosis and treatment planning, Part 7: Computer-aided axiography. J. Clin. Orthod. 12, 776-787.
- Solberg, W. K., Hansson, T. L., Nordstrom, B., 1985. The temporomandibular joint in young adults at autopsy: a morphologic classification and evaluation. J. Oral Rehabil. 12, 303-321.
- Spyropoulos, M. N., 1977. The morphogenetic relationship of the temporal muscle to the coronoid process in human embryos and fetusses. Am. J. Anat. 150, 395-409.
- Standlee, J. P., Caputo, A. A., Ralph, J. P., 1979. Stress transfer to the mandible during anterior guidance and group function eccentric movements. J. Prosthet. Dent. 41, 35-39.
- Starcke, E. N., 2002. The history of articulators: from facebows to the gnathograph, a brief history of early devices developed for recording condylar movement: Part II. J. Prosthodont. 11, 53-62.
- Sülün, T., Cemgil, T., Duc, J. M., Rammelsberg, P., Jäger, L., Gernet, W., 2001. Morphology of the mandibular fossa and inclination of the articular eminence in patients with internal derangement and in symptom-free volunteers. Oral Surg. Oral Med. Pathol. Oral Radiol. Endod. 92, 98-107.
- Tanaka, E., Dalla-Bona, D. A., Iwabe, T., Kawai, N., Yamano, E., van Eijden, T., Tanaka, M., Miyauchi, M., Takata, T., Tanne, K., 2006. The effect of removal of the disc on the friction in the temporomandibular joint. J. Oral Maxillofac. Surg. 64, 1221-1224.



- Teteruck, W. R., Lundeen, H. C., 1966. The accuracy of an ear face-bow. *J. Prosthet. Dent.* 16, 1039-1046.
- Theusner, J., Curtis, D. A., Hutton, J. E., 1993. Axiographic tracings of temporomandibular joint movements. *J. Prosthet. Dent.* 69, 209-215.
- Thilander, B., Carlsson, G., Ingervall, B., 1976. Postnatal development of the human temporomandibular joint: I. A histological study. *Acta Odontol. Scand.* 34, 117-126.
- Travell, J., 1960. Temporomandibular joint dysfunction. Temporomandibular joint pain referred from muscles of the head and neck. *J. Prosth. Dent.* 10, 745-763.
- Travers, K. H., Buschang, P. H., Hayasaki, H., Throckmorton, G. S., 2000. Associations between incisor and mandibular condylar movements during maximum mouth opening in humans. *Arch. Oral Biol.* 45, 267-275.
- Van der Linden, E. J., Burdi, A. R., Jongh, H. J., 1987. Critical periods in the prenatal morphogenesis of the human lateral pterygoid muscle, the mandibular condyle, the articular disc, and medial articular capsule. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 91, 22-28.
- Verch, S., 2002. Vergleichende Untersuchung der Messergebnisse der sagittalen Kondylenbahnneigung und des Bennettwinkels dreier Registrierverfahren. *Med. dent. Diss., Humboldt Univ. Berlin.*
- Wessling, F., 2003. Vergleichende klinische Untersuchung der elektronischen Registriersysteme GA MMA-CADIAX® und JMA®. *Med. dent. Diss., Univ. Greifswald.*
- Wierusz, A., Woźniak, W., 2004. Early foetal development of the articular disc in the human temporomandibular joint. *Folia Morphol.* 63, 185-188.

Yoon, H. J., Zhao, K. D., Rebellato, J., An K. N., Keller, E. E., 2006. Kinematic study of the mandible using an electromagnetic tracking device and custom dental appliance: introducing a new technique. J. Biomech. 39, 2325-2330.

Zebris Medical GmbH. Win Jaw 10.5xx für Windows. Bedienungsanleitung, 02/2005.

Zimmer, B., Jäger, A., Kubein-Meesenburg, D., 1991. Comparison of 'normal' TMJ-function in Class I, II and III individuals. Eur. J. Orthod. 13, 27-34.

Zola, A., 1963. Morphologic limiting factors in the temporomandibular joint. J. Prosthet. Dent. 13, 732-740.

Zwijnenburg, A., Megens, C. C., Naeije, M., 1996. Influence of choice of reference point on the condylar movement paths during mandibular movements. J. Oral Rehabil. 23, 832-837.

[www.dgfdt.de](http://www.dgfdt.de) Stellungnahmen 19.07.2015

[www.gnathologyusa.org/History.html](http://www.gnathologyusa.org/History.html) 19.07.2015

[www.nidcr.nih.gov](http://www.nidcr.nih.gov) 19.07.2015

[www.vrlogic.com/html/polhemus/3space\\_fastrak.html](http://www.vrlogic.com/html/polhemus/3space_fastrak.html) 19.07.2015

nach § 3 Abs. 3 und 4 der Promotionsordnung  
der Fakultät für Medizin der Universität Regensburg

Vorname: Janine  
in: Leipzig

- dass ich den **Doktorgrad der Zahnheilkunde** nicht schon an einer Hochschule der Bundesrepublik Deutschland erworben habe
- dass ich nicht an anderer Stelle zu einem Promotionsverfahren zum Erwerb des **zahnmedizinischen Doktorgrades** zugelassen bin
- dass ich die **zahnmedizinische Doktorprüfung** nicht schon an einer Hochschule der Bundesrepublik Deutschland endgültig nicht bestanden habe.

- dass mir keine Tatsachen bekannt sind, die mich zur **Führung eines akademischen Grades** im Sinne des Gesetzes über die Führung akademischer Grade unwürdig erscheinen lassen
- dass ich die vorliegende Arbeit **ohne unzulässige Hilfe Dritter** und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeit erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer **anderen Prüfungsbehörde** vorgelegt.

(Unterschrift)

90

## **Danksagung**

Ich möchte mich ganz besonders bei Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. P. Proff, Direktor der Poliklinik für Kieferorthopädie der Medizinischen Fakultät der Universität Regensburg, bedanken, dass ich die Möglichkeit bekommen habe, eine Doktorarbeit zu verfassen.

Nicht minder großer Dank an Frau Prof. Dr. med. dent. C. Reicheneder für die Überlassung des Themas der Arbeit, die Betreuung und Korrektur sowie Hilfsbereitschaft in allen Phasen der Entstehung dieser Dissertationsschrift.

Ein herzliches Dankeschön geht auch an Herrn Prof. Dr. med. J. Fanghänel für seine Unterstützung und die hilfreichen Korrekturen sowie wertvollen Verbesserungsvorschläge.

Für die freundliche Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse danke ich Herrn Dr. rer. nat. A. Bartsch (†).

Ich danke ganz besonders Frau Dr. med. dent. Zoi Kardari für Ihre Zusammenarbeit während der Untersuchungen und der Analyse der Ergebnisse.

Ich bedanke mich bei allen Kindern, die an der Untersuchung teilgenommen haben, sowie deren Eltern für die Erlaubnis zur Teilnahme an der Axiographie. Damit verbunden danke ich auch den Schuldirektoren, die diese Untersuchungen unterstützt haben und Frau Walburga Georg, die mir innerhalb kürzester Zeit die Untersuchungen ermöglichte.

Ich möchte mich ebenso bei allen erwachsenen Probanden für die Teilnahme an der Untersuchung bedanken.

Zum Schluss möchte ich besonders meiner Mutter für die bedingungslose Unterstützung in all den Jahren danken. Sie ermöglichte mir ein sorgenfreies Studium und schaffte es immer, mich zu motivieren.

Ich danke meinem lieben Mann Marc Metzner dafür, dass er einfach immer für mich da war und ist.